

温泉熱有効活用に関するガイドライン

平成 31 年 3 月

環境省自然環境局

はじめに

我が国では、古くから温泉が地中から運んでくる熱を煮炊きや暖房など生活の一部として有効に活用してきました。今日では技術の発展に伴い、温泉熱のさらなる有効活用が可能となり、農業ハウスや道路融雪など活用の幅も広がってきています。地域共有の自然資源である温泉熱を有効活用することで、化石燃料の使用量を削減させ、地球温暖化対策や省エネに貢献するだけでなく、経済性の確保と環境負荷の低減が両立した街づくりや地域の新産業の創出、地域のイメージ向上などの地域活性化にも貢献できる可能性が増してきました。

環境省では、温泉がもつ力が十分に発揮され、現在活用されずに排熱されている温泉熱の有効活用を促進することを目的として「温泉熱有効活用に関するガイドライン」を作成しました。本ガイドラインでは、温泉熱有効利用のための技術の紹介、技術導入の流れ、検討方法、そして実際に導入の検討を行ったケーススタディを紹介しています。また、別冊の「温泉熱利用事例集」では30件の事例を紹介しています。なお、実際の導入効果や導入の可否は個々の環境により異なりますので、専門事業者とよく相談をする必要があります。

温泉は、古来より病気やけがの治癒、心身の保養・休養や農閑期の骨休めのために活用され、現代では温泉入浴に加え、自然や文化、食などの地域資源も共に楽しむことで心身をリフレッシュさせる場となっています。温泉は時代を超えて活力ある社会を生み出す源でもあります。今後も国民共有の資源である温泉が将来にわたって引き継がれるとともに、温泉源が有効活用され、低炭素社会実現への機運が高まることを期待しています。

平成 31 年 3 月
環境省自然環境局

ガイドラインにおける用語一覧

本ガイドラインで用いる用語は以下のとおりです。

(五十音順)

用語	解説
温泉槽	温泉を貯める容器のこと。
温泉熱ポテンシャル	温泉から活用できる熱量のこと(温泉の湧出量や温度により異なる)。
温泉熱供給事業者	集中配湯や熱供給をしている組合などのこと。
温泉付随可燃性天然ガス コージェネレーション	温泉付随可燃性天然ガスを利用して発電を行うとともに、発電の際に発生する熱を利用して温水を作る装置のこと。
ガスセパレーター	温泉ガスと温泉(水)を分離する装置(気水分離機)のこと。
ガスタンク	ガスを貯める容器のこと。
ケルビン(K)	絶対温度のこと(熱運動が停止する約 $-273^{\circ}\text{C}=0\text{K}$)。
集中配湯	温泉を集中管理し利用者(周辺施設)へ配湯すること。
貯湯槽	温水を貯める容器のこと。
熱供給	温水を1箇所まとめて作り、利用者(周辺施設)へ供給すること。
熱交換器利用	水を熱交換器であたため、給湯や暖房に利用すること。
排湯槽	排湯を貯める容器のこと。
ヒートポンプ	電気を使って温度の低い温泉や排湯などから熱を回収し、高効率でより温度の高い温水を作る装置のこと。
ヒートポンプ利用	水をヒートポンプであたため、給湯や暖房に利用すること。
プレーヤー	温泉熱利用に関係する人や組織のこと。
ボイラー	ガス、灯油、重油などの燃料を使って、水などを加熱して蒸気や温水を作る装置のこと。
補機類	ヒートポンプやバイナリー発電機などを動かすために必要な機器のこと(ポンプなど)。
冷却塔	発電機や吸収式冷温水発生機の冷却水を冷却・再生し、廃熱を大気へ排出する装置のこと。

目次

1	温泉熱利用の概要	1
1.1	ガイドラインの構成	1
1.2	温泉熱利用とは	2
1.3	温泉熱ポテンシャル	3
1.4	導入の効果	5
1.5	ガイドラインの目的と役割	6
1.6	ガイドライン利用対象者	7
2	温泉熱利用技術について	8
2.1	温泉熱利用に用いる技術	8
2.2	利用方法	13
3	温泉熱利用導入検討手法について	14
3.1	温泉熱利用導入手順	14
3.2	各手順における検討内容	15
(1)	要望・課題の明確化	15
(2)	基本情報の整理（自己分析）	17
(3)	温泉熱利用設備（システム構成）の検討	24
(4)	実施体制の検討	33
(5)	資金調達方法の確認	34
(6)	導入効果の検討	36
(7)	維持管理方法の検討	41
(8)	法規制の確認	43
(9)	詳細検討	45
4	ケーススタディ	46
4.1	バイナリー発電モデル事例 - A 温泉	47
4.2	温水供給（個別）モデル事例 - 上山田ホテル	55
4.3	温水供給（個別）モデル事例 - B 旅館	64
4.4	熱供給モデル事例 - C 温泉	74
4.5	集中配湯モデル事例（熱源変更） - D 温泉	81
4.6	集中配湯モデル事例（配管変更） - D 温泉	89

備考

1 温泉熱利用の概要

1.1 ガイドラインの構成

本ガイドラインは以下のように構成されています。

1. 温泉熱利用の概要

本ガイドラインで解説される内容や温泉熱利用の概要、また、本ガイドラインが対象としている利用者などについて説明します。

2. 温泉熱利用技術について

温泉熱を利用した熱利用技術と利用方法について説明します。

3. 温泉熱利用導入検討手法について

「温泉熱の効果的な導入モデル」を提示します。さらに、これらの温泉熱利用を実施するための導入手順や検討内容などを説明します。

4. ケーススタディ

「3. 温泉熱利用導入検討手法について」で説明される温泉熱利用導入のための検討手順や方法にしたいが、試算したケーススタディ（検討事例）を紹介します。

別添1. 事例集

「平成29年度温泉熱等の有効活用等検討委託業務」で調査した温泉熱利用先進導入事例の取組内容（各事例における導入の流れや導入効果など）を取りまとめ「温泉熱利用事例集」にしました。

別添2. パンフレット

温泉熱の説明や期待される効果の概要、また、温泉熱利用方法別の特徴、事例集に掲載した温泉熱利用先進導入事例の抜粋版を掲載したパンフレット「温泉熱の有効活用にむけて」にしました。

別添3. 温泉熱利用検討ツール

温泉熱利用導入検討を行ううえで今後の検討方針の整理を行うため、現状把握や温泉熱・排湯熱の利用率などが把握できる簡易な計算ツール（自己分析ツール）と実施体制検討用コンテンツです。

URL：http://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing.html

1.2 温泉熱利用とは

昔から「温泉」は、浴用や観光資源として多くの人々に利用されてきました。しかし温泉「熱」は、入浴に適した温度の熱のみが利用されるだけで、まだまだ使われずに捨てられている熱がたくさんあります。

例えば、

- 高温温泉を浴用に使うために水を足したり、わざわざ冷まして温度を下げているにも関わらず、シャワーのお湯を作るため化石燃料を使って水を沸かしている
- 入浴に使った後の温泉をそのまま捨てている
- 昔から温泉を配って地域で活用しているが、実際の使用量に見合った配湯温度や流量に見直されず、当時のまま運用している、など

これらはすべて有効活用可能な「温泉熱」を十分に活かしてきれていない状況といえます。

これらの余っている熱を、私たちが普段使っている暖房やシャワー、融雪、農業などに活用することで、光熱費・CO₂排出量の削減、地域活性化などが期待できます。

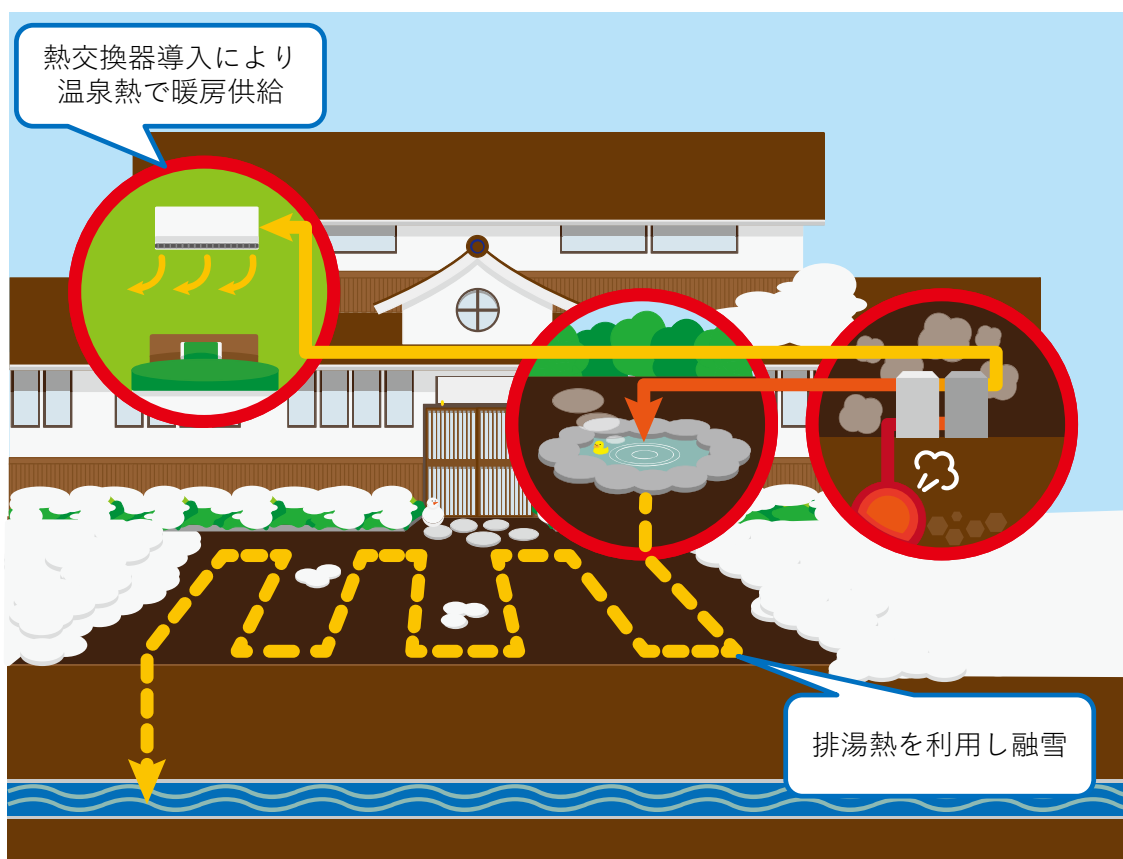


図 1 温泉熱活用イメージ

1.3 温泉熱ポテンシャル

温泉の湧出量や温度により異なりますが、温泉が保有している熱量を温泉熱ポテンシャルといいます。

熱量は、移動する熱の流れを数値化したものであり、図 2 に示すとおり、主に流量と温度差により決まります。そのため流量が多いほど、また、温度差が大きいほど熱量は大きくなります。

例えば、浴用利用前にヒートポンプ（詳細は p.9 参照）を使って温泉熱を利用する場合（温泉温度が 60℃、浴用温度が 45℃、排湯温度が 38℃、外気温度 8℃ の場合を想定）、図 2 に示すように、温泉温度から排湯温度までの温度差分の熱量が温泉熱ポテンシャル（温泉）となり、排湯温度から外気温度までの温度差分の熱量が温泉熱ポテンシャル（排湯）となります。そして、これらの熱量の合計が温泉熱ポテンシャルとなります。

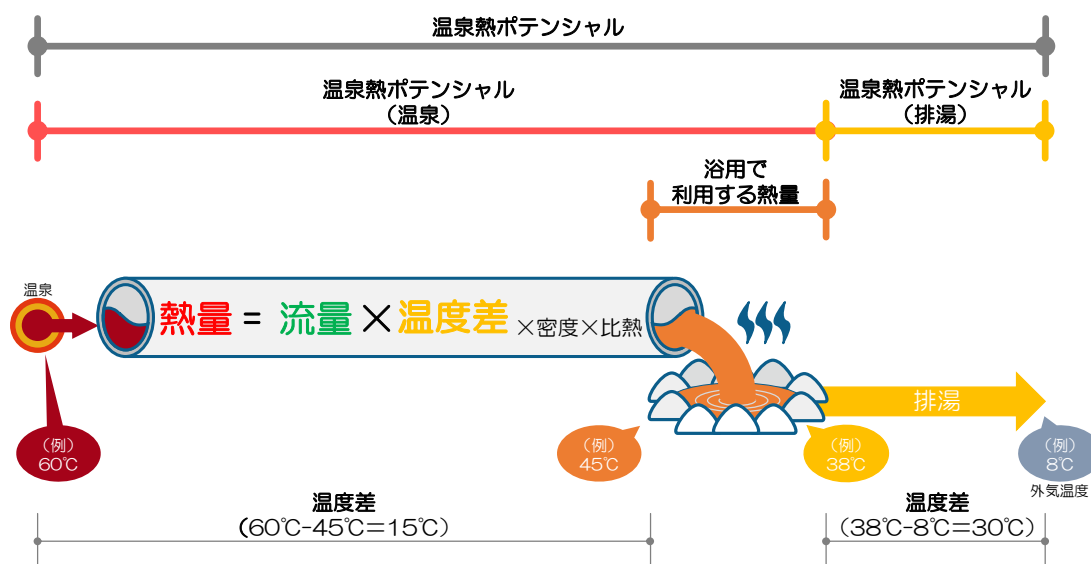


図 2 熱量の考え方

次頁の図 3 に示すとおり、浴用に使う温泉を活用して温泉熱利用を行う場合、浴用に利用する温度は確保する必要があるため、この温泉熱ポテンシャルから浴用に必要な温度差（図 3 グレーの部分）を除いた、温泉温度から浴用温度まで（図 3 ピンクの部分）と排湯温度から外気温度まで（図 3 オレンジの部分）が有効活用できる温度差となります。

例えば、浴用に使うには温度が高い 60℃の温泉が 150L/min で湧出している場合、有効活用できる温度差（図 3 ピンクの部分）は 15℃となり、その熱量は約 157kW となります。この熱量を油炊きボイラーで作ると約 1,200 万円/年^{※3}の重油代が必要となります。

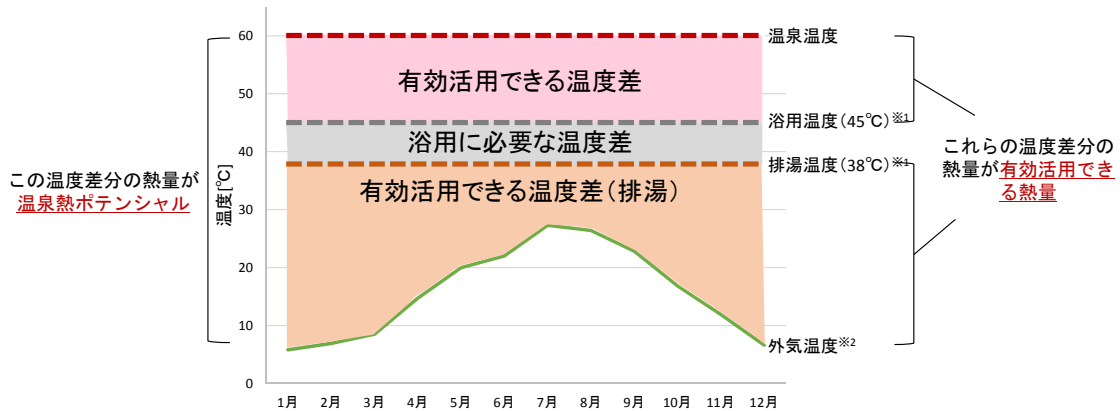


図 3 有効活用できる温度差とその熱量

(※1：浴用温度を 45°C、排湯温度を 38°C と仮定、※2：北関東の外気温度を想定)

※3：ボイラー効率 0.8、ボイラー運転時間 8,760h/年、重油発熱量 39.1MJ/L、A 重油単価 80 円/L、比熱 = 4.2[kJ/kg・K]、密度 1,000kg/m³とした場合の試算値。

温泉熱ポテンシャルは温度差が大きくなる寒冷地や冬期の利用がより効果が大きいことがわかります。

また、温泉温度が高い場合には、さらなる温泉熱ポテンシャルが見込まれることから、より多くの効果が期待できます。

このように、温泉熱は地域固有の熱源としてそのポテンシャルは高く、大きな活用可能性をもっています。

しかしその一方で、冷暖房やシャワーの温水を作るため、重油など多くの化石燃料が使われています。また、浴用として利用した後の排湯も、まだ有効に使える熱が余っている状態で排水されることが多いです。そのため、化石燃料に代わり活用可能性の高い温泉熱を利用するなど、温泉熱のさらなる利用普及が望まれています。

このように「熱」としての利用価値が高い温泉を、再生可能エネルギーのひとつとして広く私たちの生活に活用することで、低炭素化社会への大きな貢献が期待できます。

1.4 導入の効果

温泉熱を有効活用することで、温泉を利用しているホテル・旅館の関係者、温泉熱事業者、その温泉地に、省エネによる経済効果だけでなく省 CO₂ 化による環境効果・地域経済活性化などの社会効果が期待されます。さらに温泉資源の適切な管理により温泉枯渇防止となり、環境資源保護への貢献としての意義もあります。

温泉熱利用導入による導入効果の例を表 1 に示します。

表 1 温泉熱利用による導入効果の例

影響側面	導入効果 (例)
経済性	<ul style="list-style-type: none">・ 化石燃料利用量削減による光熱費の低減・ 温泉熱利用 PR による集客数増加および知名度向上
環境性	<ul style="list-style-type: none">・ 化石燃料利用量削減による省エネ・省 CO₂ などの環境負荷低減・ 集中配湯など温泉利用量の管理による温泉資源枯渇防止および温泉資源（環境資源）の保護
社会性	<ul style="list-style-type: none">・ 温泉熱を活用した第 6 次産業（温泉熱を活用した農業を行い、作った作物の加工・販売までを行うなど）による新規雇用創出および地域経済の活性化・ 温泉熱利用で得られた収益の活用による地域の活性化・ 環境教育への活用

1.5 ガイドラインの目的と役割

温泉熱利用促進のためには、温泉旅館・ホテルの関係者、地方公共団体、農業関係者など、温泉を活用した取組を行う方が、温泉熱利用について理解されたいうえで検討を進めることが重要です。

温泉熱利用導入までは、図 4 に示すとおり、大きくわけて3つのステップがあります。本ガイドラインでは、導入決定までの検討手法をご紹介します。

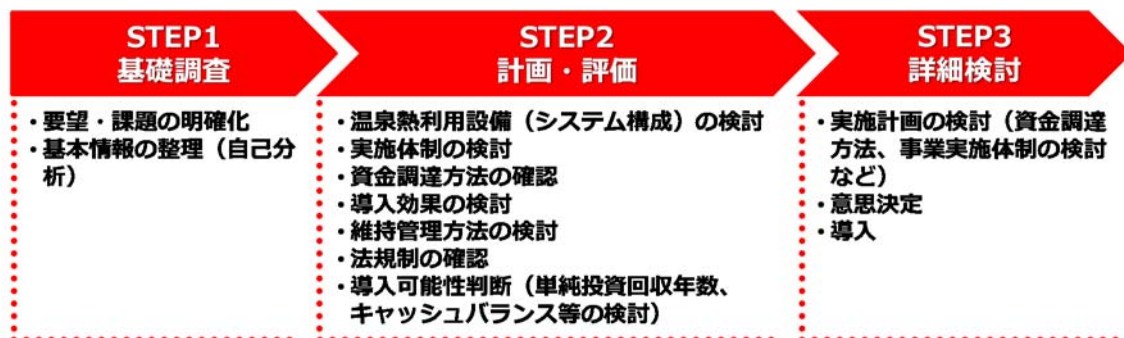


図 4 温泉熱利用導入までの検討の流れ

具体的には、温泉熱利用技術の紹介（さまざまな温泉熱利用方法の特徴、具体的な利用方法、検討方法など）と、温泉熱利用の導入検討を行ううえで参考となる、費用対効果の高い効果的な導入モデルの提示を行います。また、先進導入事例などに関する情報もご紹介しています。これにより、温泉熱利用の導入効果の理解を深めるとともに、導入検討の円滑化に役立つことを期待しています。

最終的には、本ガイドラインを活用していただくことで、温泉熱利用の普及を促すとともに低炭素社会の推進と温泉熱を活かした地域活性化を後押しすることを目的としています。

1.6 ガイドライン利用対象者

本ガイドラインは、温泉を利用している方や温泉熱に関心のある方すべてを対象としています。本ガイドラインが、温泉熱利用の検討を行う方々にとって、大いに役立つことを期待します（図 5）。



図 5 ガイドライン利用対象者

2 温泉熱利用技術について

2.1 温泉熱利用に用いる技術

温泉熱利用は、図 6 に示すとおり、使用する温泉温度によって利用できる技術や方法が異なります。発電利用、ヒートポンプを活用した温泉加温・暖房利用、温泉排湯を融雪に利用するなどの個別施設での利用、温泉と熱交換した温水を地域に供給する面的な利用など、さまざまな方法があげられます。

また、この他にも温泉熱を活用した食品の発酵や製造、木材の乾燥などがあり、その活用可能性は非常に大きいです。

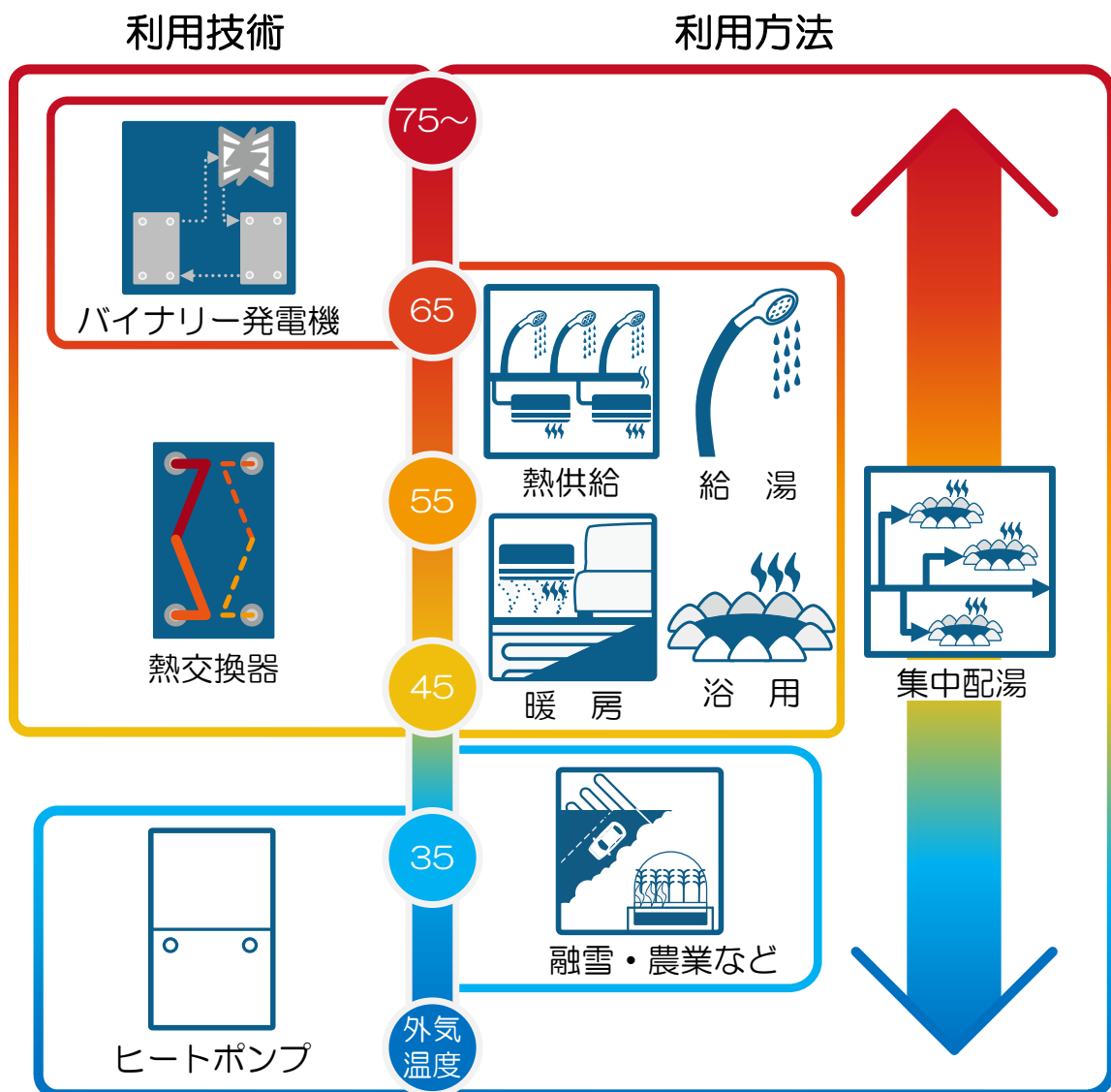


図 6 温度別 温泉熱利用方法のイメージ

※適応温度は一般例として示しているもので、個別の機器や導入条件により異なります。

温泉熱利用で一般的に使われる技術の特徴と各技術の留意点を以下に示します。

● ヒートポンプ

特徴

ヒートポンプとは、電気などのエネルギーにより低温部分から高温部分へと熱を移動させる装置です。多くは電動の圧縮機を利用したものです。

基本的には、圧縮機、蒸発器、凝縮器、膨張弁の4つの要素とこれらを結ぶ配管から構成されており、この配管の中を冷媒が循環します。冷媒は蒸発器で空気などの熱源から熱を吸収し、蒸発して圧縮機に吸い込まれ、高温・高圧のガスに圧縮されて凝縮器に送られます。ここで冷媒は熱を放出して液体になり、さらに膨張弁で減圧されて蒸発器に戻ります。ヒートポンプは、こうした冷媒ガスの圧縮・凝縮の繰り返しにより、熱の移動を行う装置です。この際に使用する電気は、熱エネルギーとしてではなく、動力源としてのみ使用されるため、一般に消費電力の約3～6倍の熱を昇温して移動することが可能であり、省エネルギーにつながります。

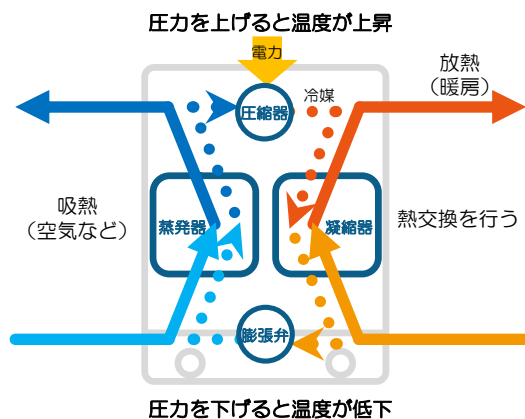


図 7 ヒートポンプの仕組み



写真 1 ヒートポンプイメージ
(参照：洞爺湖温泉調査写真)

留意点

- ・ ボイラーなどの電気以外の設備から取り替える際、電気容量変更工事が必要となる場合があります。

● 熱交換器

特 徴

高温の流体から低温の流体へ熱を移動させることで、物体の加熱や冷却を行う装置です。

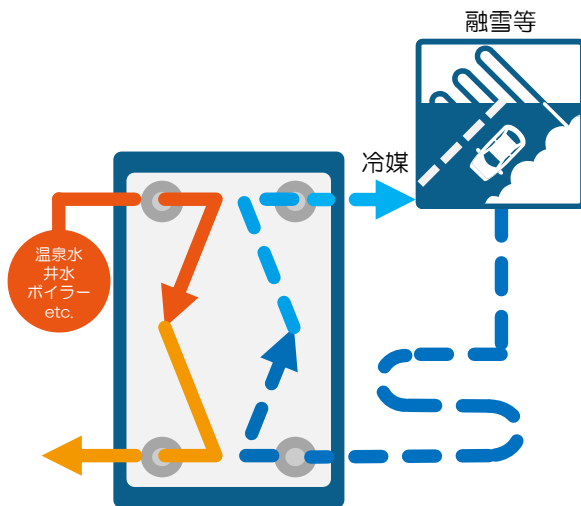


図 8 熱交換器の仕組み



写真 2 熱交換器イメージ
(参照：箱根大平台温泉組合調査写真)

留意点

- ・ 使用する温泉の泉質によって、温泉スケールによる目詰まり・熱交換率の低下が懸念されるため、維持管理方法などに注意が必要です。

● バイナリー発電

特 徴

バイナリー発電とは、地中の熱水などを用いて、水よりも沸点が低い作業流体（液体）を加熱し、これによって作られた高圧の蒸気によりタービンを回して発電を行う装置のことです。

基本的には、蒸発器、凝縮器、タービン発電機の3つの要素とこれらを結ぶ配管から構成されており、この配管の中を作業流体が循環します。

タービンを通じた作業流体（気体）は、凝縮器で冷却されて液体となり、再び地中の熱水などの熱で気体となってタービンを通ずるといったサイクルになっています。従来の水を実作流体とする地熱発電よりも浅い地中の熱源を利用できることから、探査や掘削が容易となり初期投資負担が軽減されるという特徴があります。

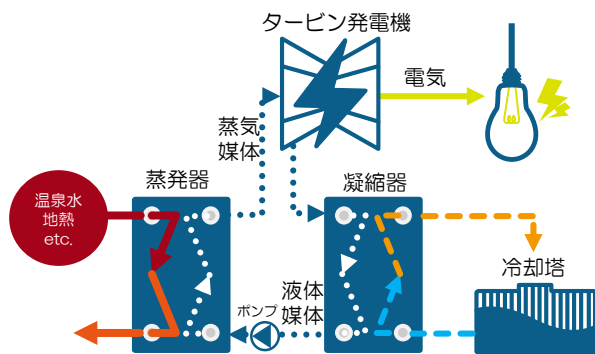


図 9 バイナリー発電の仕組み



写真 3 バイナリー発電イメージ
(参照：土湯温泉バイナリー発電所調査写真)

留意点

- ・ 高圧・高温状態の蒸気を揚湯し、バイナリー発電を行う場合、急激な状態変化による温泉スケール析出により、関連設備や配管の目詰まりが懸念されるため、維持管理方法などには注意が必要です。

● 温泉付随可燃性天然ガスコージェネレーション

特徴

温泉付随可燃性天然ガスコージェネレーションとは、温泉に付随する可燃性天然ガスを燃料として発電を行い、その際に発生する排熱を給湯や暖房に利用する装置です。気水分離装置（ガスセパレーター）を使って、温泉水から天然ガスを分離し、この天然ガスを燃料としてガスエンジンを稼働させ電力を生成します。

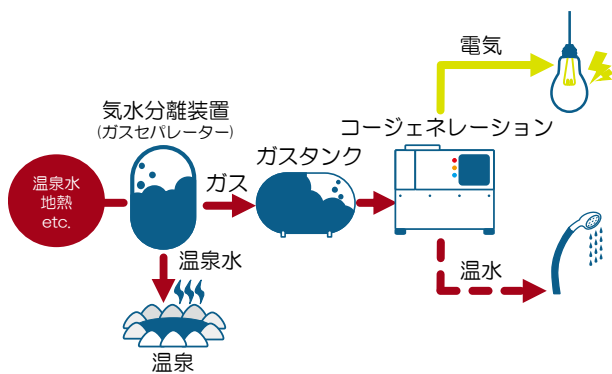


写真 4 ガス

図 10 ガスコージェネレーションの仕組み
コージェネレーションイメージ
(参照：川根温泉調査写真)

留意点

- 温泉付随可燃性天然ガスは、鉱業法にて鉱物として規定されているため、ガスの採取・利用をする場合には鉱業法に基づき鉱業権を取得する必要があります。

● その他の応用技術

カスケード利用（多段階利用）

- 一度「温泉熱」として利用した後に、利用後の温泉温度に応じて熱を二次利用、三次利用と多段階に活用することです。多段階な熱利用方法の例としては、バイナリー発電などに利用した後の温泉を、栽培、養殖、融雪などの温度レベルが低い用途に活用する方法があげられます。例えば図 11 に示すとおり、バイナリー発電として利用した後、まだ浴用に利用するには温度が高すぎる場合、発電利用後の温泉を使って熱交換器で採熱し温水を作り温度を下げ、その後浴用利用に利用する方法があります。このようにカスケード利用することで、温泉の未利用熱を最大限に有効活用することが可能です。

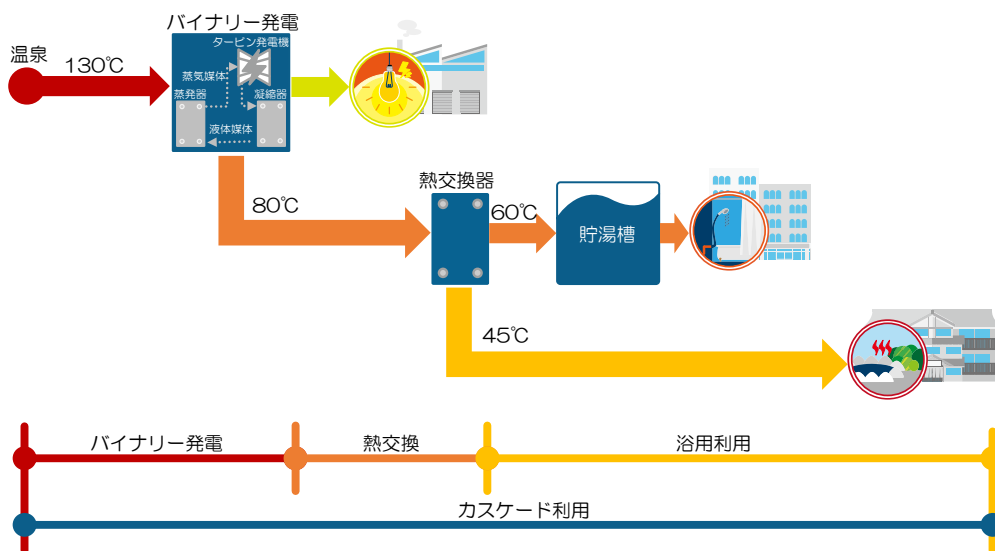


図 11 カスケード利用（例）

2.2 利用方法

表 2 利用方法と各特徴

利用方法	利用イメージ※1	具体的な導入事例※2
温水供給 (シャワー など)		あかん遊久の里 鶴雅 定山溪 鶴雅リゾートスパ 森の譚 洞爺湖温泉 しみずの湯 B&B パンシオン箱根 熱川バナナワ二園 雲仙地獄 など
空調		あかん遊久の里 鶴雅 定山溪 鶴雅リゾートスパ 森の譚 洞爺湖温泉 牛岳温泉 植物工場 セントピアあわら しみずの湯 熱川バナナワ二園 雲仙地獄 など
融雪、 農業など		定山溪 鶴雅リゾートスパ 森の譚 大高建設 大滝屋旅館 洞爺湖温泉 など
集中配湯		洞爺湖温泉 湯野浜温泉 土湯温泉バイナリー発電 修善寺温泉 など
熱供給 (シャワー など)		湯野浜温泉 など
発電		川湯の森病院 洞爺湖温泉 土湯温泉バイナリー発電 ホテルサンバレー 湯村温泉 亀の井発電 小浜温泉バイナリー発電所 など

※1：利用する温泉の温度帯によっては、ヒートポンプは不要です。 ※2：導入事例は、平成 29 年度温泉熱等の有効活用等検討委託業務における事例調査結果をもとに記入しています。

3 温泉熱利用導入検討手法について

3.1 温泉熱利用導入手順

本ガイドラインでは、検討手順をご紹介します。図 12 が導入検討のためのフローです。詳細な検討方法についてはp.14以降の「3.2 各手順における検討内容」をご覧ください。

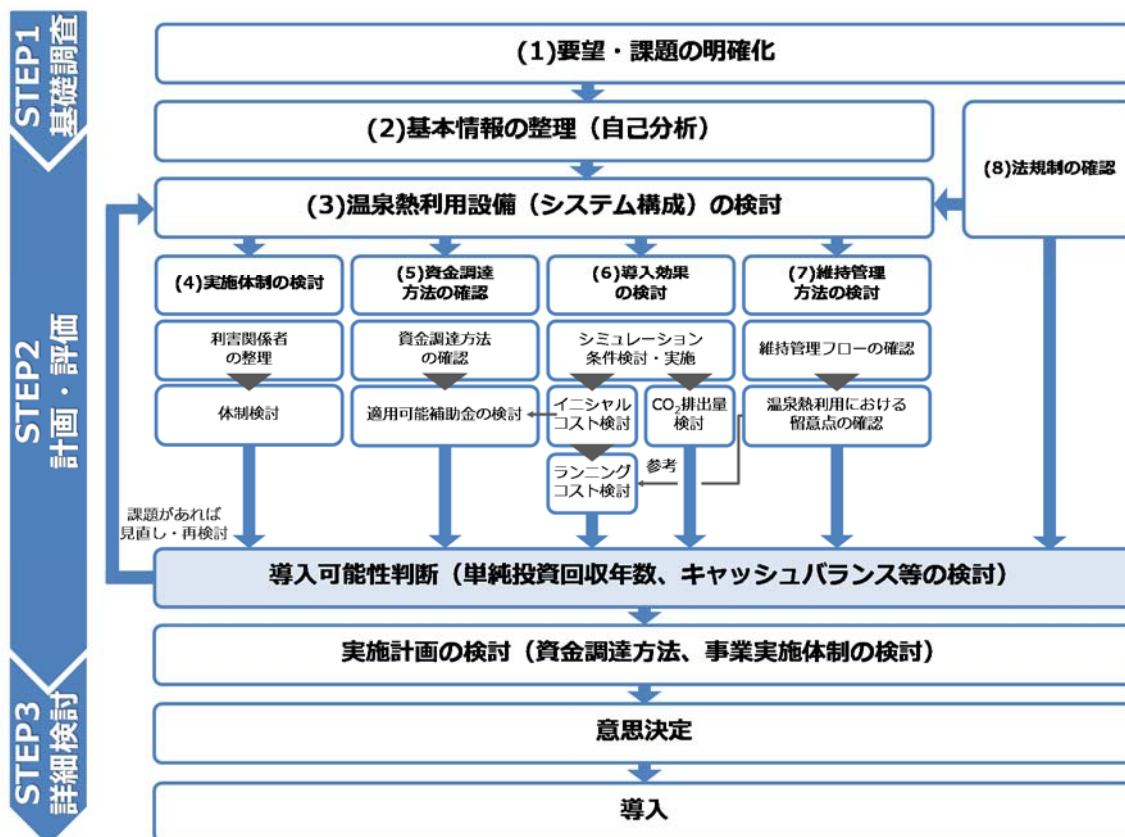


図 12 温泉熱利用導入手順

3.2 各手順における検討内容

STEP1 ～導入可能性判断実施のための基礎調査～

(1) 要望・課題の明確化

温泉熱利用の導入検討を円滑に進めるためには、要望や課題を明確にし、おおまかな方針を決めることが大切です。そこで、まずは温泉熱利用により期待すること、現状抱えている課題などを整理します。

参考情報として、すでに温泉熱利用を実施している事業者が、温泉熱利用前に抱えていた主な要望とその要望に対する解決方法の例を表 3 に示します。

要望の解決のために、まずは現在の運用上の問題点がないかの点検を行います。例えば、エネルギーコストが高い場合、現状システムで無用にエネルギーを消費している箇所がないかなどのエネルギー使用量のマネジメントが必要となります。

課題に対する解決方法は必ずしもひとつではないため、解決方法を検討する際は、このあと説明がされている「(2) 基本情報の整理 (自己分析)」にて、確認する活用可能な熱量や熱利用要件をきちんと把握・見直したうえで、最適と思われる解決方法を検討する必要があります。

表 3 主な要望および解決方法 (例)

要望	点検事項 (例)	解決方法 (例)
<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギーコスト (燃料費) が高く、削減したい 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用量に見合った契約プランとなっているか ・ 施設の稼働状況に対して過大な装置などが導入されていないか など 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉熱利用可能な環境にやさしい機器の導入など
<ul style="list-style-type: none"> ・ 省エネ性に配慮しながら、旅館内温度環境の快適性を確保したい/向上したい 		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境配慮型旅館・施設/温泉地として PR したい 		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境負荷を減らしたい (地球温暖化防止、CO₂ 排出量削減など) 		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 観光客が少ない/減ったため、集客のきっかけ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉地で楽しめるプログラムや長期滞在しや 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉熱を利用した観光施設や地産品の開発

けを作りたい	すい宿泊プランの再検討 など	など
<ul style="list-style-type: none"> 温泉枯渇・泉質劣化・温泉温度または流量低下への懸念があり、温泉資源を保護したい 	<ul style="list-style-type: none"> 温泉需要量に対して適切な揚湯量となっているか 集中配湯の場合、配湯先での需要量が適正であるか 温泉設備の劣化（漏れ）による過剰揚湯や、詰まりなどによる動力増加となっていないか など 	<ul style="list-style-type: none"> 集中配湯システムの導入など集中配湯システムを導入する 揚湯ポンプ制御盤のインバーター化など揚湯量をコントロールするなど
<ul style="list-style-type: none"> 浴用にそのまま利用するには温泉温度が高く使いづらいため、温泉温度を低くしたい 	<ul style="list-style-type: none"> 高温を活かした熱利用用途の確認（食品加工、暖房など） など 	<ul style="list-style-type: none"> 熱交換器やバイナリー発電を導入して、温度を下げると同時にエネルギーコストを削減するなど
<ul style="list-style-type: none"> 温泉（排湯、湧出温泉）を使いきれず放流している（無駄が多く、もったいない）ため、未利用熱・排湯温泉を有効活用したい 	<ul style="list-style-type: none"> 追加的な温泉需要の有無の確認（足湯施設や供給施設の追加など） 排湯熱の活用方法を検討する など 	

(2) 基本情報の整理（自己分析）

どの温泉熱利用技術を導入できるかを検証するためには、使用する温泉に関する基本情報を整理し、現状把握および今後どのような情報が必要かを確認する必要があります。

以下に示す温泉熱ポテンシャルなどは、環境省ホームページにも掲載されている別添の自己分析ツールで実際に試算・確認することが可能です。

ツール等掲載URL：http://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing.html

① 既存システムの確認

現状保有している設備システムや、配管の劣化状況、これらの更新時期などを確認し、設備改修とあわせた温泉熱利用導入が可能かを確認します。

表 4 確認事項と確認方法（例）

確認事項	確認方法（例）
竣工年、保有設備	竣工図面（システム図、機器表、配管図など）の確認
各設備の改修年、改修内容	改修図面（システム図、機器表、配管図など）の確認

② 温泉熱利用率・排湯熱利用率の確認

利用している温泉の温泉熱ポテンシャルを算出し、現状の温泉熱利用率（排湯の場合は、排湯熱利用率）と、熱として有効活用できる未利用熱量を確認します（図 13、図 14、図 15）。

環境省ホームページに掲載されている試算ツールでは、この未利用熱量を灯油ボイラーで作った場合に必要となる概算の灯油量および灯油代が試算できるようになっています。

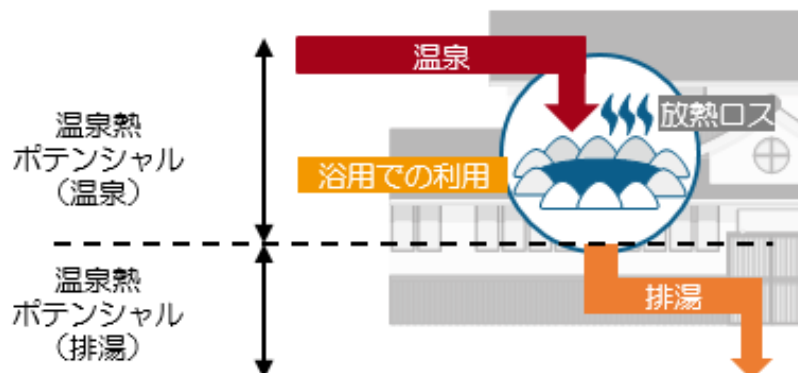


図 13 温泉熱ポテンシャルと温泉熱ポテンシャル（排湯）の区分

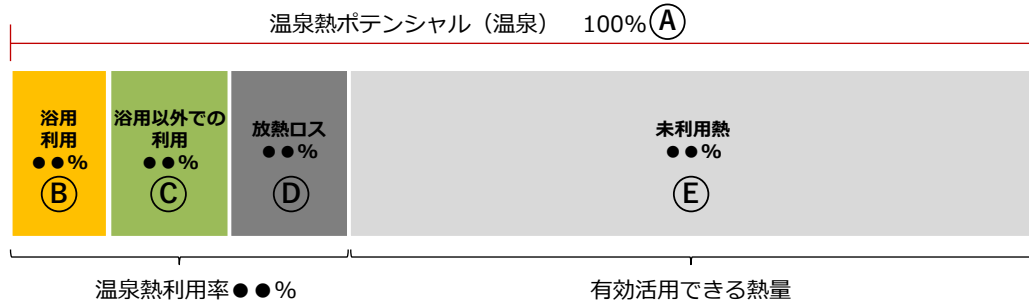


図 14 温泉熱利用率 イメージ

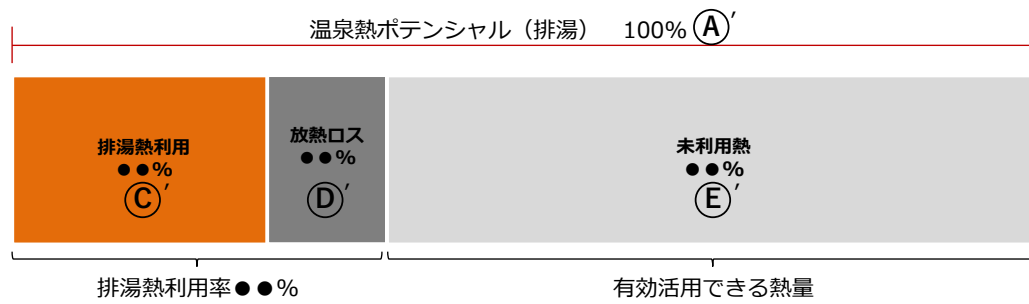


図 15 排湯熱利用率 イメージ

「1.3 温泉熱ポテンシャル」で示したとおり、温泉熱ポテンシャル（温泉）は、温泉温度から排湯温度までの温度差エネルギーとなり数式④で算出することができます。また、温泉熱ポテンシャル（排湯）は、排湯温度から外気温度までの温度差エネルギーとなり数式④'で算出することができます。

数式⑥で温泉熱利用量（浴用）を算出することができます。浴用以外で温泉熱を利用している場合は、数式⑦で温泉熱利用量（浴用以外）を、排湯熱を利用している場合は、数式⑦'で排湯熱利用量を算出することができます。

また、放熱ロス、温泉熱ポテンシャル（温泉もしくは排湯）の10%^{*}と仮定しており、数式⑧で算出することができます。なお実際は、配管種類や配管設置条件により配管からの放熱量（放熱ロス）は異なるため留意する必要があります。

※大塚ほか「外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その55）給湯プログラムによる計算事例」

【温泉熱ポテンシャル（温泉）の算出方法】

$$\text{温泉熱ポテンシャル（温泉） [kW]} = (\text{温泉温度} - \text{排湯温度}) [\text{K}] \times \text{流量} [\text{m}^3/\text{sec}] \times 4.2[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \times 1,000[\text{kg}/\text{m}^3] \textcircled{\text{A}}$$

※比熱と密度は、本来温度により変化しますが、試算を簡易化するため 27℃の温水の場合の数値（比熱=4.2[kJ/kg・K]、密度 1,000[kg/m³]）を使用しています。

【温泉熱ポテンシャル（排湯）の算出方法】

$$\text{温泉熱ポテンシャル（排湯） [kW]} = (\text{排湯温度} - \text{外気温度}) [\text{K}] \times \text{流量} [\text{m}^3/\text{sec}] \times 4.2[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \times 1,000[\text{kg}/\text{m}^3] \textcircled{\text{A}'}$$

※比熱と密度は、本来温度により変化しますが、試算を簡易化するため 27℃の温水の場合の数値（比熱=4.2[kJ/kg・K]、密度 1,000[kg/m³]）を使用しています。

【温泉熱利用量（浴用）の算出方法】

$$\text{温泉熱利用量（浴用） [kW]} = (\text{浴用温度} - \text{排湯温度}) [\text{K}] \times \text{流量} [\text{m}^3/\text{sec}] \times 4.2[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \times 1,000[\text{kg}/\text{m}^3] \textcircled{\text{B}}$$

※比熱と密度は、本来温度により変化しますが、試算を簡易化するため 27℃の温水の場合の数値（比熱=4.2[kJ/kg・K]、密度 1,000[kg/m³]）を使用しています。

【温泉熱利用量（浴用以外）、排湯熱利用量の算出方法】

$$\begin{aligned} \text{温泉熱利用量（浴用以外）、排湯熱利用量 [kW]} = \\ (\text{利用前温度} - \text{利用後温度}) [\text{K}] \times \text{流量} [\text{m}^3/\text{sec}] \times 4.2[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \\ \times 1,000[\text{kg}/\text{m}^3] \cdots \textcircled{\text{C}} \text{（温泉）}、\textcircled{\text{C}'} \text{（排湯）} \end{aligned}$$

※比熱と密度は、本来温度により変化しますが、試算を簡易化するため 27℃の温水の場合の数値（比熱=4.2[kJ/kg・K]、密度 1,000[kg/m³]）を使用しています。

【放熱ロスの算出方法】

$$\text{放熱ロス [kW]} = \text{温泉熱ポテンシャル（温泉または排湯）} \times 10\% \cdots \textcircled{\text{D}} \text{（温泉）}、\textcircled{\text{D}'} \text{（排湯）}$$

これらの浴用分・浴用分以外の温泉熱利用量の合計または排湯熱利用量の合計に放熱ロスを足したものが温泉熱利用量および排湯熱利用量になります。

【温泉熱利用量の算出方法】

$$\text{温泉熱利用量[kW]} = \text{㊸} + \text{㊹} + \text{㊺}$$

【排湯熱利用量の算出方法】

$$\text{排湯熱利用量[kW]} = \text{㊹}' + \text{㊺}'$$

温泉熱利用率（温泉熱ポテンシャル（温泉）に対する温泉熱の利用割合）および排湯熱利用率（温泉熱ポテンシャル（排湯）に対する排湯熱の利用割合）は、以下の数式を用いて算出することができます。温泉熱利用率および排湯熱利用率は低いほど、まだ有効に活用できる熱が豊富にあることを意味します。

【温泉熱利用率の算出方法】

$$\text{温泉熱利用率[\%]} = \frac{\text{温泉熱利用量 (㊸} + \text{㊹} + \text{㊺)}}{\text{温泉熱ポテンシャル (温泉) (㊸)}} \times 100$$

【排湯熱利用率の算出方法】

$$\text{排湯熱利用率[\%]} = \frac{\text{排湯熱利用量 (㊹}' + \text{㊺}')}{\text{温泉熱ポテンシャル (排湯) (㊸)'}} \times 100$$

温泉熱ポテンシャルを算出する際、温泉分析書に記載されている温泉温度・流量を用いて試算することは可能ですが、利用する温泉直近の計測データがあれば、より精度の高い結果を算出することができます。簡易な計測方法は、次頁をご覧ください。

● 温泉温度・流量の簡易計測方法

熱利用予定温泉の情報が、温泉分析書の情報と大きく異なることが想定される場合、簡易計測で把握することが望ましいです。

温泉温度と流量を簡易的に計測する方法を表 5 に示します。

表 5 温度・流量簡易計測方法

	温度	流量
計測方法	1. 熱利用予定温泉の温度をお風呂・温泉用温度計などを使って計測します ※ 瞬間的な値ではなく、数時間、数日など継続して計測する、または同じ場所を複数回計測し平均値をとるなどすると、より精度の高い結果が得られます	1. 容積がわかる目盛りが付いた容器を用意します 2. 容器に温泉を貯めます 3. 容器がいっぱいになるまでに要した時間を確認します 4. 容器の容量を時間で割り戻し、流量を算出します

③ 熱需要量の確認

シャワーやカランの温水や暖房などの、温泉熱利用先で現在必要な熱量（熱需要量）を確認します。例えば、ボイラーなどを使って水（15℃と仮定）からシャワー用のお湯（40℃と仮定）を作っている場合、以下の数式での温度差は「40℃－15℃＝25℃」となります。

暖房も上記と同様の考え方となり、暖房用のお湯（50℃と仮定）を作っている場合、温度差は「50℃－15℃＝35℃」となります。

【熱需要量の算出方法】

$$\text{熱需要量[kW]} = \text{温度差[K]} \times \text{流量[m}^3\text{/sec]} \times 4.2[\text{kJ/kg} \cdot \text{K}] \times 1,000[\text{kg/m}^3] \cdots \text{⑥}$$

※比熱と密度は、本来温度により変化しますが、試算を簡易化するため 27℃の温水の場合の数値（比熱＝4.2[kJ/kg・K]、密度 1,000[kg/m³]）を使用しています。

④ 熱需要量と未利用熱量の比較

「③熱需要量の確認」で算出した熱需要量⑥と未利用熱量⑤（④－（⑤＋⑥＋⑦））や⑥’（④’－（⑤’＋⑥’））を比較し、使える熱量の割合を確認します。

【熱需要量に対する未利用熱量の割合の算出方法】

$$\text{熱需要量に対する未利用熱量の割合}[\%] = \frac{\text{未利用熱量（⑤または⑤’）}}{\text{熱需要量（⑥）}} \times 100$$

● 試算例

- ・ 温泉温度 60℃の温泉が 150L/min あり、浴用に必要な温泉温度は 45℃であるため、現状の温泉温度では高すぎる
- ・ 一方、15℃の水を灯油ボイラーであたためてシャワーやカラン用に 42℃の温水 100L/min を作っているため、灯油ボイラーの代替設備として温泉熱を使った省エネ設備を導入したいと考えている

【未利用熱量の算出（例）】

$$\text{未利用熱量} \frac{[\text{kW}]}{[\text{kW}]} = \frac{(60-45)[\text{K}] \times 150[\text{L}/\text{min}] \times 4.2[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \times 1000[\text{kg}/\text{m}^3]}{1000[\text{L}/\text{m}^3] \times 60[\text{sec}]}$$

※60 で割ることで、流量を L/sec に変換しています。また、1,000 で割ることで、流量を m³ に変換しています。

【熱需要量の算出（例）】

$$\text{熱需要量} \frac{[\text{kW}]}{[\text{kW}]} = \frac{(42-15)[\text{K}] \times 100[\text{L}/\text{min}] \times 4.2[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}] \times 1000[\text{kg}/\text{m}^3]}{1000[\text{L}/\text{m}^3] \times 60[\text{sec}]}$$

※60 で割ることで、流量を L/sec に変換しています。また、1,000 で割ることで、流量を m³ に変換しています。

【未利用熱量に対する熱需要量の割合の算出（例）】

$$\text{熱需要量に対する未利用熱量の割合}[\%] = \frac{158 [\text{kW}]}{189 [\text{kW}]} = 83\%$$

未利用熱量に対する熱需要量の割合が 83%であることから、目安として、必要な熱量の 80%程度を未利用温泉熱でまかなえることがわかります(※機器の効率により使用可能な熱量は異なります)。

⑤ 実施体制検討のための情報確認

「(4) 実施体制の検討」にて体制を整理するうえで必要となる利害関係者を明確にします。検討が必要な利害関係者の種類は、p.34「実施体制検討用コンテンツ記入(例)」に記載されている役割およびプレーヤーをご覧ください。

⑥ 維持管理方法検討のための情報確認

既存(現状)システムの維持管理方法と利用温泉の泉質を踏まえ、現状行っている温泉スケール対策方法を明確にします。この際、温泉熱利用設備に更新予定の設備機器の維持管理費用や維持管理に必要な作業時間などが確認できれば、今後の検討に活用することができます。

温泉熱利用システム導入後の維持管理方法は、p.41「(7) 維持管理方法の検討」をご覧ください。

STEP2 ～導入可能性判断（計画・評価）～

(3) 温泉熱利用設備（システム構成）の検討

2.1 章で紹介した技術を用いた導入効果の高い温泉熱利用モデルと熱利用予定温泉の温度区分をもとに、システム構成を検討します。どのシステムが適合するかを確認し、温泉熱利用の実施方針を決定します。

● バイナリー発電

バイナリー発電機を用いて、温泉熱で発電するシステムです。温泉熱で作った電気は、所有施設やバイナリー発電用の補機類用電力として使用する自家消費、固定価格買取制度（FIT）による売電などに使用できます※。また、65℃未満の温泉に関しては、温度が低く発電への利用が難しくなりますが、温水供給（個別）や熱供給利用への導入も視野に入れた検討が考えられます。

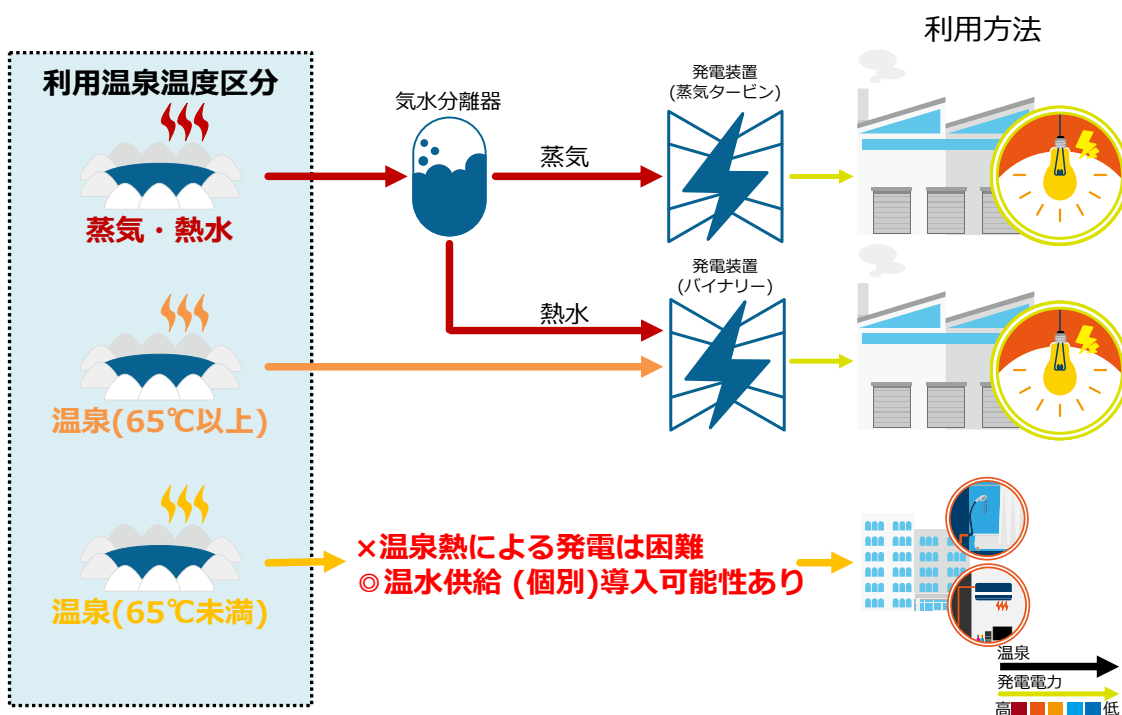


図 16 バイナリー発電モデル

※ 国の補助金を活用して設備を導入した場合、固定価格買取制度（FIT）による売電はできません。

表 6 バイナリー発電 留意点および解決方法 (例) ※1

留意点	解決方法 (例)
<ul style="list-style-type: none"> ・発電装置を設置するためには、周辺地域の理解が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・説明会など合意形成の場を設け、地域の理解を得るようにする。
<ul style="list-style-type: none"> ・定格発電量を得るためには、発電装置の設置場所の温泉温度、流量、もしくは蒸気量の計測を行い、条件を満たしているかの確認が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・設置場所での温度・流量実測を行い、正しい供給可能熱量を把握し、使用環境と利用目的に合った機器を選ぶ（コストは高くなるが蒸気量を計測するセンサーの設置も有効な方法）。
<ul style="list-style-type: none"> ・冷却水に上水を利用しようとすると水道料金の負担が大きくなる可能性が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・冷却水および冷却塔補給水に地下水を利用するなど、水道料金を抑える方法も検討する（ただし、冷却水および補給水は水質基準が設けられているため、水質の確認や、地下水の場合は水利権の発生の有無にも留意が必要）
<ul style="list-style-type: none"> ・FIT による売電は、電力会社が受入可能かの確認が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電力会社と事前に協議する（配電網システムの容量が問題なければ、託送※2を検討項目に追加）。
<ul style="list-style-type: none"> ・近隣に宿泊施設や住宅などがある地域に発電装置を導入する場合は、騒音対策などの検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防音壁の設置や建屋の活用などを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・定格発電量が小容量（10kW 以下）の発電装置の場合、屋外仕様の機器が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋の建築あるいは既存建屋の利用などを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・バイナリー発電設備の設置者は、規模に関わらず電気主任技術者の選任が義務付けられているため、有資格者の雇用や教育、または外部委託が必要。これに加え、発電メーカーによるメンテナンスが必要となるため、発電容量が小さいとメンテナンスコストがコストメリットに大きく影響する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・経済性に関する導入効果の検討では、エネルギーコストだけでなく必要となるメンテナンスコストに留意して試算を行う。

※1：留意点と解決方法 (例) は、あくまで一例です。実施場所や温泉の条件などによって異なります。

※2：電力会社が所有する送配電網を利用して、発電事業者などが自家消費先などへ送電を行うことをいいます。

● 温水供給（個別）

熱交換器やヒートポンプを用いて、温泉熱で温水を作り、自家消費するシステムです。温泉熱で作った温水は、シャワーやカランなどの給湯や暖房、融雪などに利用することができます。

排湯熱利用を含め、未利用熱を使いきれない場合があるため、排湯熱利用後の温水を暖房や融雪に利用するなど、その他の熱利用先への導入も視野に入れた検討が考えられます。

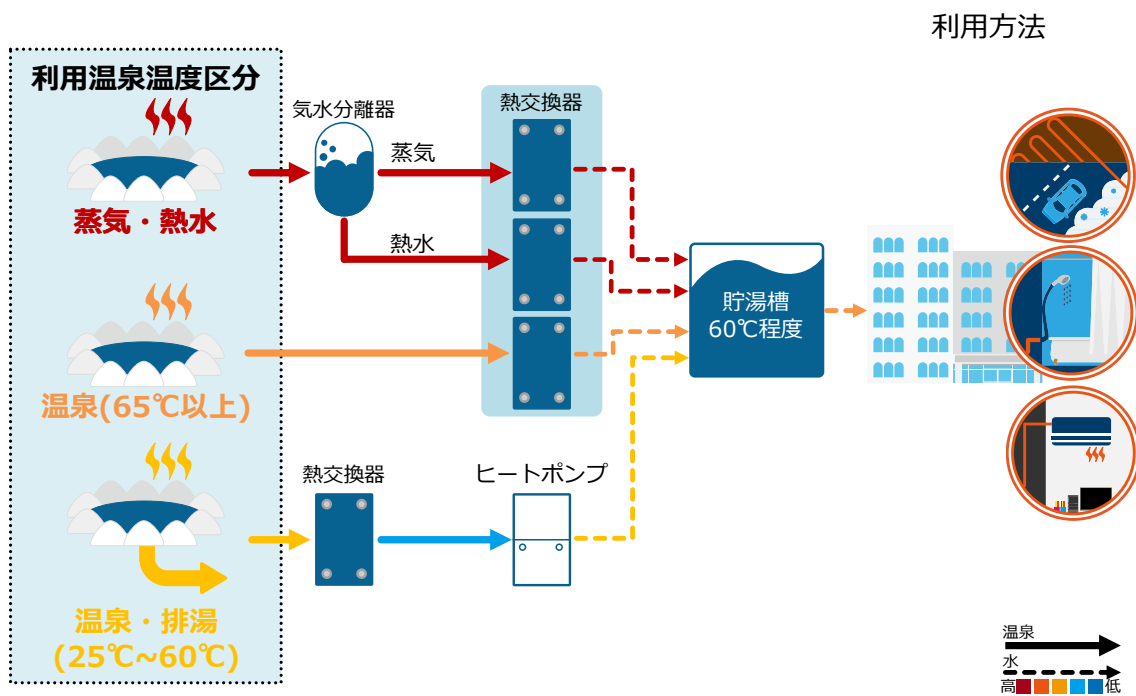


図 17 温水供給（個別）モデル

表 7 温水供給（個別） 留意点および解決方法（例）※

留意点	解決方法（例）
<ul style="list-style-type: none"> ・ 排湯利用をする場合、浴場が分散している場合もあるため、熱源位置（または熱交換器の位置）や排湯ルートのある程度近接している必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存システムを確認し、熱源位置や排湯の取出し位置を確認し、最適な導入ルートを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ シャワーなどの給湯のプレヒート用として温泉熱を利用する場合、メンテナンス時や温泉温度・流量の変化に対応するため、熱源のバックアップ（補助熱源）について検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 給湯用の熱源を安定して確保するため、バックアップ（補助熱源）として安価な熱源（ボイラーなど）の導入を検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ ポンプなど、騒音の発生源となる機器を利用するため、騒音対策の検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 騒音の発生源となるポンプや補助熱源機器は機械室内に設置するなど、騒音の影響が小さくなるような場所に設置することを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 温泉のスケールの付着が懸念される場合、メンテナンスしやすいシステムの検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ メンテナンスしやすい熱交換器の設置や配管システムを検討する。 ・ スケール除去方法を検討する。

※ 留意点と解決方法（例）は、あくまで一例です。実施場所や温泉の条件などによって異なります。

● 熱供給

熱交換器やヒートポンプを用いて、温泉熱で温水を作り、複数の施設へ供給するシステムです。熱供給先では、複数施設のシャワーやカランなどの給湯や暖房、融雪などに利用することができます。本システム導入にあたっては、周辺施設に熱を受け入れる需要家が必要となります。

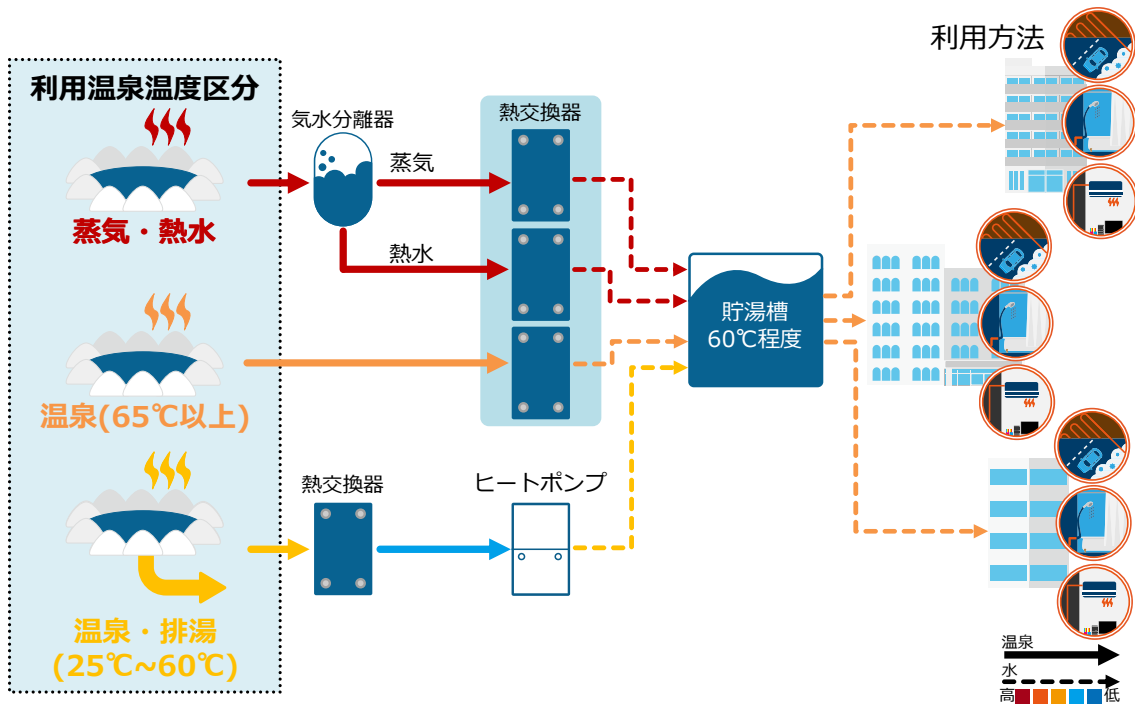


図 18 熱供給モデル

表 8 熱供給 留意点および解決方法（例）※

留意点	解決方法（例）
<ul style="list-style-type: none"> 熱供給先との合意形成が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 利害関係者間で合意形成を得るための協議の場を設置する。
<ul style="list-style-type: none"> 事業スキーム（温泉熱の売買価格、設備の責任分界点など）の明確化が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 熱供給事業内で事業スキームの検討（料金体系、条例改正、熱需給バランスなど）を行い、マスタープラン作成などを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> 需要家側の受入設備の整備（配管、バックアップなど）が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 既存建物が熱需要家となる場合、詳細なシステムなどの調査を行い、熱供給の設備設置可否を調査する。 建物の新築や改修など需要家の建設計画にあわせた熱供給事業を検討する。
<ul style="list-style-type: none"> メンテナンス時や温泉状況変化に対応するための、熱源のバックアップ（補助熱源）について検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 送水温度を安定化させ、熱供給の契約を担保するため、バックアップ（補助熱源）として安価な熱源（ボイラーなど）の導入を検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ポンプなど騒音の発生源となる機器を利用するため、騒音対策の検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 騒音の発生源となるポンプや補助熱源機器は、機械室内に設置するなど、騒音の影響が小さくなるような場所に設置することを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ポンプや補助熱源などを屋外に設置する場合、機器のセキュリティーを確保する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> フェンスなどによる区画や機械室の設置など、関係者以外が容易に触れない方法を検討する。

※ 留意点と解決方法（例）は、あくまで一例です。実施場所や温泉の条件などによって異なります。

● 集中配湯

ひとつの温泉地で採取される温泉を単一の管理主体が管理し、複数の利用施設へ配湯するシステムです。本システムを導入することで、温泉資源を保護し、効率的に利用することができます。

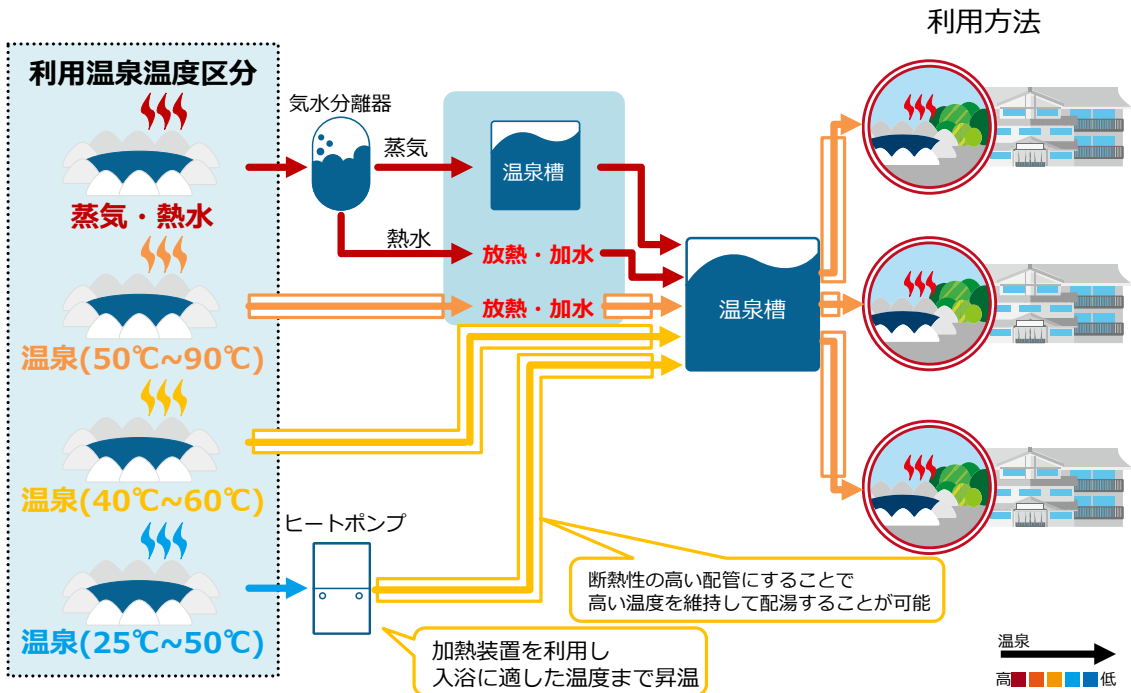


図 19 集中配湯モデル

表 9 集中配湯 留意点および解決方法（例）※

留意点	解決方法（例）
<ul style="list-style-type: none"> ・昇温の実施が冬期のみの場合など、稼働時間が短いため採算性が悪くなる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・投資回収年数などを十分に考慮して導入の是非を検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・昇温用の熱源として温泉を利用すると、配湯温度低下のリスクがあり、供給先への契約配湯量や温度が確保できなくなる場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・配湯温度の見直しや、契約量と使用量の実態の再調査を行うなど、必要な温泉量を精査する。
<ul style="list-style-type: none"> ・ヒートポンプなどの昇温装置を導入する場合、管理体制を整備する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・管理のための人員増加や管理業務の一部外部委託など、維持管理体制の見直しを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・集中配湯管に断熱配管を採用する場合、非断熱配管を用いた場合に比べて材料費が高くなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・それぞれの配管システムについてイニシャルコストとランニングコストを踏まえた導入効果の検討を行い、最適な配管システムを選択する。
<ul style="list-style-type: none"> ・昇温用にヒートポンプを採用する場合、メンテナンス時や温泉状況変化に対応するため、熱源のバックアップ（補助熱源）について検討が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・配湯温度を安定化させ、熱供給の契約を担保するためにも、バックアップ（補助熱源）として安価な熱源（ボイラーなど）の導入を検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・集中配湯管の多くが公道内の土中埋設管で延長距離も長いため、配湯管の腐食・破損などがあった場合、被害に気付きにくい恐れがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・流量や温度の変化などを日常的に点検する。また、異常な使用量があった際に警報などが出る自動制御システムの導入も検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・タンク・ポンプ・補助熱源などを屋外に設置する場合、機器のセキュリティーを確保する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・フェンスなどによる区画や機械室の設置など、関係者以外が容易に触れない方法を検討する。

※ 留意点と解決方法（例）は、あくまで一例です。実施場所や温泉の条件などによって異なります。

これらの温泉熱利用方法以外にも、温泉付随可燃性天然ガスコージェネレーションシステムがあります。作られた電力の使用方法としては、所有施設で使う自家消費、固定買取制度（FIT）による売電などがあげられます。また、発電に伴い発生する熱は、シャワーやカランなどの給湯、または暖房や融雪などへの熱源として利用することができます。

(4) 実施体制の検討

温泉熱利用をするうえで、検討する必要がある役割とその役割を担うプレイヤーを整理します（図 20）。

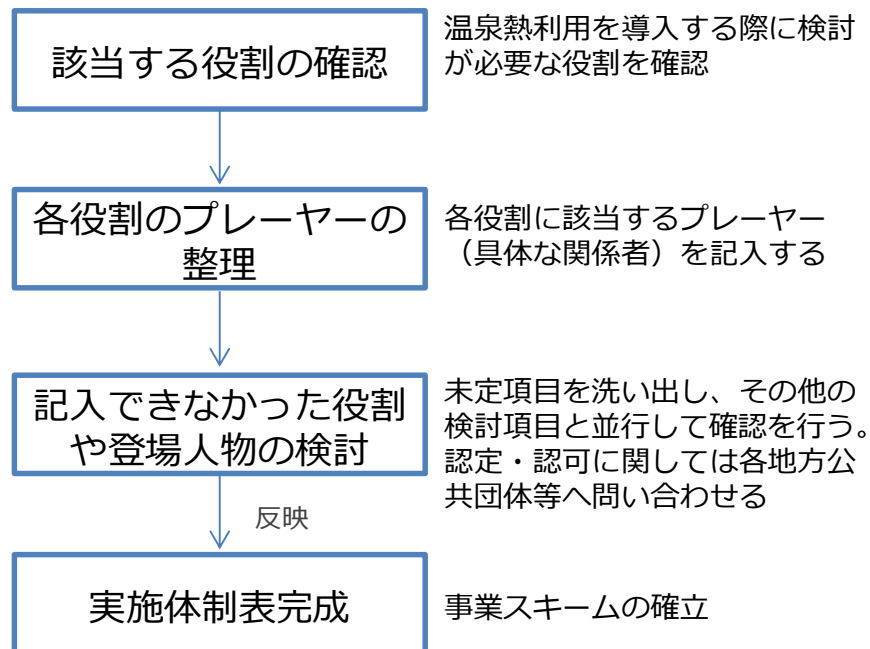


図 20 実施体制検討の流れ

次頁の実施体制検討用コンテンツ（図 21）の記入用シートを用いて、温泉熱利用導入の際に必要な役割と各プレイヤーを記入します。

導入時に想定される体制を記入していき、当該検討段階で記入できない項目は、検討が進むにつれ判明してきた情報をもとに、順次記入していきます。

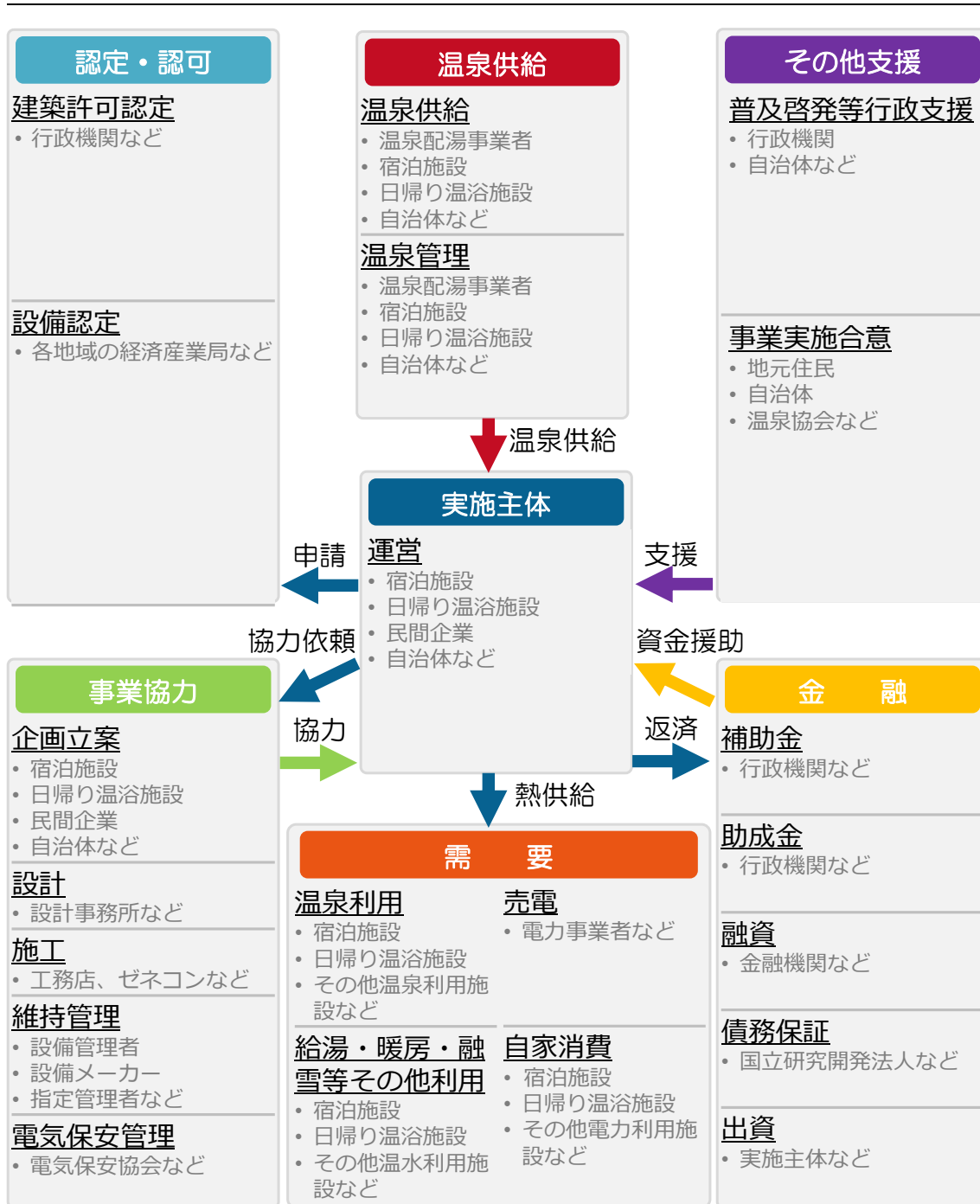


図 21 実施体制検討用コンテンツ記入（例）
（上図灰色字は記入例）

(5) 資金調達方法の確認

図 22 をもとに、温泉熱利用をするうえで、適用し得る金融スキームの種類を把握します。(1)～(8)までの検討の結果、導入可能性が高いことが確認されたときは、各スキームのメリット・デメリットなどの特徴を踏まえたうえで、どのスキームがもっとも適しているかの検討を進めることが可能となります。

事業スキーム	自己実施			PFI	ESCO		エネルギーサービス 受託
	自己資金	借入	リース取引		自己資金型	民間資金型	
対象	自治体、民間事業者			自治体	自治体、民間事業者		自治体、民間事業者
特徴	・出資金100%を自己資金で賄う。	・銀行等から融資を受け、出資金にあてる。 ※自治体の場合は、1会計年度を超えた借入れが行える「地方債」も利用可能	・事業者が機械設備等を選定し、取引会社が購入する。そして、その購入物を比較的長期にわたり賃貸する。	・公共施設等の設計、建設、維持管理、運営に、民間のノウハウや資金を活用し、公共サービスの提供を行う。 ・必ずしも省エネルギー改修に限定されない。	・省エネルギー導入のための設計・施工、保守管理等包括的なサービスの提供を行う。 ・民間資金型に比べ、ESCO事業契約期間が短い	・省エネルギー導入のための設計・施工、保守管理等包括的なサービスの提供を行う。 ・自己資金型に比べ、ESCO事業契約期間が長くなる	・エネルギーサービス事業者(受託者)が、エネルギー関連システムの設置、所有、保守管理等一括して行う。 ・エネルギー関連システムの設備受託、運用管理受託が主であり、必ずしも省エネルギー改修に限定されない
キャッシュフロー(例)	-	-	-				
体制(例)	-						
資金の流れ	-	-	・リース会社の資産を借りる	・PFI事業者(民間企業等)が初期投資の資金の調達を行う	・事業者が省エネルギー導入にかかる初期投資の資金の調達を行う	・ESCO事業者が省エネルギー導入にかかる初期投資の資金の調達を行う ・事業者は、パフォーマンス契約料としてESCO事業者に定額の支払いを行う	・エネルギーサービス事業者が初期投資の資金の調達やリース会社や金融機関との交渉を行う ・事業者は、受託サービス料としてエネルギーサービス事業者に定額の支払いを行う
温泉熱利用関連設備等所有権	温泉熱利用実施者(出資者)	事業者など(顧客)	リース会社	PFI事業者	事業者など(顧客)	事業者など(顧客)	事業者など(顧客)
メリット	・借入利息等の支払いが不要 ・別途資金調達するための手続きが不要	・初期投資不要(※頭金は必要)	・初期投資不要 ・財政支出の平準化が可能	・財政支出の軽減が可能	・初期投資不要 ・財政支出の平準化が可能 ・ESCO事業者により省エネパフォーマンスが保証される	・初期投資不要 ・財政支出の平準化が可能 ・ESCO事業者により省エネパフォーマンスが保証される	・初期投資不要 ・財政支出の平準化が可能 ・エネルギーサービス受託会社が省エネ設備等に必要資金の調達を行うため、事業者は金融上のリスクを負わない ・設計から管理まで全てまかせることで業務負担の軽減が可能
デメリット	・初期投資が必要 ・省エネルギー導入にかかる初期投資の資金の調達を行うため、事業者に金融上のリスクが発生する	・借入利息の支払いが必要 ・省エネルギー導入にかかる初期投資の資金の調達を行うため、事業者に金融上のリスクが発生する	・配管や建屋などの不動産、また、地中の土木工事などはリースとして認められないため、取引可能対象に限られる	・PFI事業者の選定や、自治体等によるPFI事業者への管理・指導など、事業を始めるまでに時間を要する ・PFI事業として成り立つ事業に限られる(全ての案件でPFI事業が成り立つわけではない)	・本来、初期投資時に必要だった経費に加え、ESCO事業者への経費(パフォーマンス契約料)を支払う必要がある ・省エネルギー導入にかかる初期投資の資金の調達を行うため、事業者に金融上のリスクが発生する	・本来、初期投資時に必要だった経費に加え、ESCO事業者への経費(パフォーマンス契約料)を支払う必要がある ・自己資金型に比べ、省エネ効果が小さい場合、事業が成り立ちにくい	・省エネ効果が小さい場合、事業が成り立ちにくい

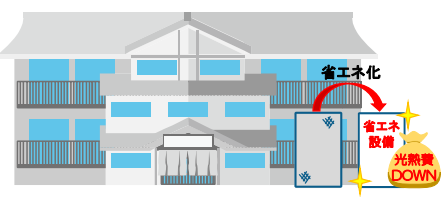
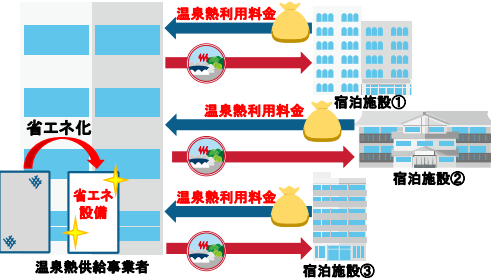
図 22 適用し得る金融スキーム一覧

(6) 導入効果の検討

温泉熱利用によるランニングコスト削減は、事業者としての収益ではない一方、売電などによる収入は事業者としての利益となるため導入検討時に考慮する経費が異なります。そのため本ガイドラインでは、温泉熱エネルギーの利用範囲(単独施設での利用・複数施設での利用)で事業区分(考慮する経費項目など)を整理します。

「単独施設での利用」および「複数施設での利用」の区分方法を、表 10 に示します。

表 10 事業区分

	単独施設での利用	複数施設での利用
利用者 (例)	・温泉旅館・ホテルの関係者 日帰り温浴施設の関係者	・温泉熱供給事業者 ・バイナリー発電事業者 ※温泉・温水・電力の需要家(各温泉旅館など)は、左記にあたる
利用 イメージ		
温泉熱利用 目的	・設備の更新または省エネ化	・設備の更新または省エネ化 ・温泉または温泉熱により生成した温水・電力の供給により収益を得ること
対象となる 温泉熱利用 モデル種類	・バイナリー発電(自家消費) ・個別利用(温水供給)	・バイナリー発電(売電) ・集中配湯 ・熱供給
考慮する 経費項目 (キャッシュ アウト)	・初期投資(設備など) ・維持管理費	・初期投資(設備など) ・維持管理費 ・法人税 ・法人事業税

なお、本ガイドラインでは考慮していませんが、温泉熱利用にかかる経費としては、上記に掲げる項目以外に、損害保険料(加入する場合)や固定資産税などの租税公課(民間事業者の場合)などが必要となります。考慮する経費項目や試

算方法などの詳細については以降の「経済効果」の検討に示しますので、ご参照ください。

導入効果の検討では、経済性・環境性・社会性の導入効果を確認します。

● 経済効果

まず、温泉熱利用で必要となる概算費用の確認、温泉熱利用時のキャッシュバランス比較によるコストメリットの確認、単純投資回収年数の確認を行います。

概算費用の確認

温泉熱利用に伴う設備導入費、工事費（防音壁など付帯工事費を含む）などの合計を算出し、温泉熱利用に必要な概算費用を確認します。

キャッシュバランス（コストメリット）の確認

キャッシュイン（入ってくるお金）^{※1}がキャッシュアウト（出ていくお金）^{※2}を上回るか（温泉熱利用の採算がとれるかどうか）を確認します。図 23 に示すとおり、キャッシュイン>キャッシュアウトとなると、コストメリットがあると判断することができます。

キャッシュインとキャッシュアウトの詳しい経費項目（例）は、表 11 に示すとおりです。



図 23 コストメリットイメージ
(キャッシュイン>キャッシュアウト)

※1：総稼働期間におけるランニングコストメリット（既存システムのランニングコストー温泉熱利用システムのランニングコスト）、※2：温泉熱利用システム稼働までにかかる総費用

表 11 キャッシュバランス（コストメリット）確認に必要な経費（例）

キャッシュイン	ランニングコストメリット (既存システムのランニングコストー温泉熱利用システムのランニングコスト)	光熱費のほか、設備メンテナンス委託費、修繕費などの導入前後の差額。
	温泉熱利用料金	複数施設での利用の際に発生。温泉熱供給による収益。バイナリー発電により発電した電力の売却額も含む。
	補助金収入	補助金を導入する場合は初期投資額から補助額を差し引く。
キャッシュアウト	初期投資	設備導入費、工事費（防音壁などの付帯工事費含む）などの合計。
	賃貸料（設備設置先が借地などの場合）	総稼働期間中の総額。
	法人税/法人事業税	複数施設での利用（民間事業者）の際に考慮。

温泉熱を利用する立場（事業区分）によって、キャッシュインの考え方が異なります。事業区分ごとのキャッシュバランスイメージは図 24 に示すとおりです。

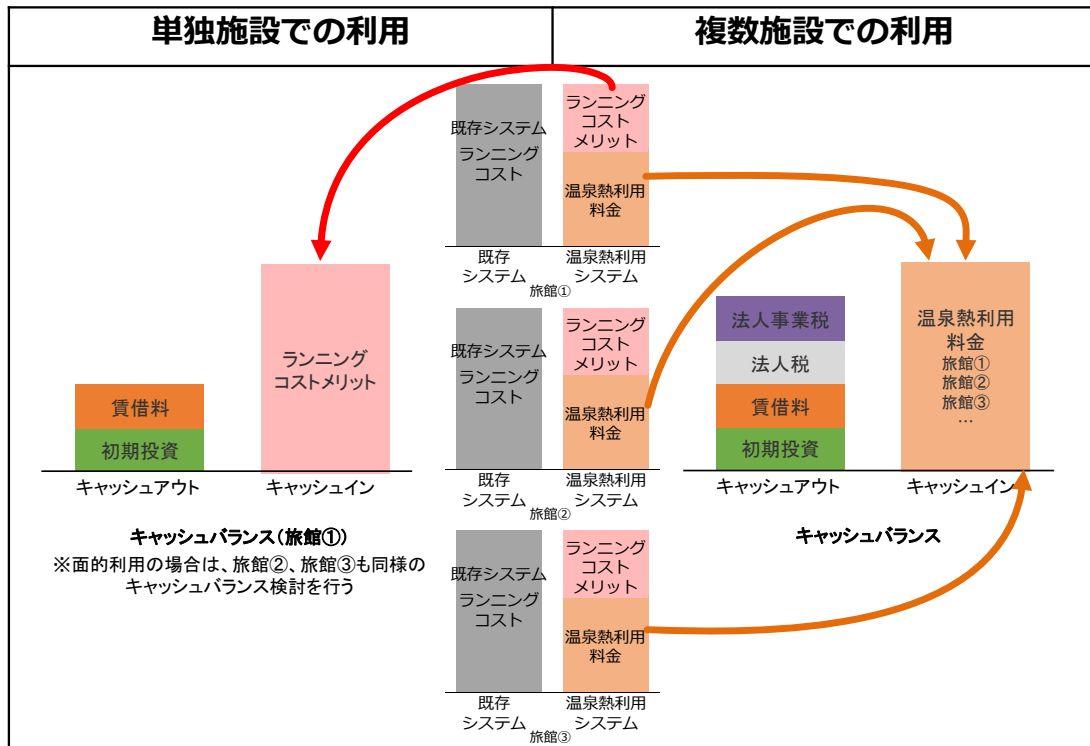


図 24 キャッシュバランスの考え方

単純投資回収年数の確認

単純投資回収年数は、資金調達計画を立てるうえでも確認が必要です。キャッシュインおよびキャッシュアウトから、単純投資回収年数を試算します。

【温泉熱利用システムを新規導入する場合】

$$\text{単純回収年数[年]} = \frac{\text{キャッシュアウト (温泉熱利用イニシャルコスト)}}{\text{ランニングコストメリット/年}}$$

【既存システムへの更新と温泉熱利用システムへの更新を比較する場合】

$$\text{単純回収年数[年]} = \frac{\text{キャッシュアウト (温泉熱利用イニシャルコスト - 既存システムイニシャルコスト)}}{\text{ランニングコストメリット/年}}$$

● 環境効果

CO₂削減量の確認

温泉熱利用による環境負荷削減効果の確認のため、以下の数式を用いてCO₂排出量および削減率を確認します。

【CO₂排出量の算出方法】

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量[kg-CO}_2\text{/年]} = \text{年間のエネルギー消費量} \times \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

※電気の場合は電力消費量が、灯油や重油などの燃料を使用する場合はそれらの使用量がエネルギー消費量になります。CO₂排出係数は、使用するエネルギー供給会社により異なりますので、各指標をご確認ください。

● 試算例

- ・ ヒートポンプ（消費電力 30kWh）を 1 日 20 時間、毎日動かす
- ・ 東京電力エナジーパートナー（株）による電力を利用する

【CO₂排出量の算出（例）】

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量 [kg-CO}_2\text{/年]} &= 30[\text{kWh}] \times 20[\text{h/日}] \times 365[\text{日}] \times 0.486[\text{kg-CO/kWh}]^* \\ &= 106,434[\text{kg-CO}_2\text{/年}] \end{aligned}$$

※参照：電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）-平成 28 年度実績- H29.12.21 環境省・経済産業省公表

【CO₂削減率の算出方法】

$$\text{CO}_2 \text{削減率}[\%] = \frac{\text{既存システム CO}_2 \text{排出量} - \text{温泉熱利用システム CO}_2 \text{排出量}}{\text{既存システム CO}_2 \text{排出量}} \times 100$$

● 社会効果

温泉熱利用による社会効果の確認を行います。一般的な社会効果としては、表 12 に示す項目が考えられます。

表 12 温泉熱利用による一般的な社会効果（例）

- ・ 雇用創出
- ・ 地域社会貢献
- ・ 地域のブランド化
- ・ にぎわい創出
- ・ 環境先進地域としての PR

(7) 維持管理方法の検討

一般的な維持管理の流れを図 25 に示します。日常の運転管理では、状態監視（圧力、温度、異音発生有無など）、目視確認（錆、腐食など）を行い、適宜、調整・補修・清掃を行うのが一般的です。警報や異音発生など異常が確認されたら、各機器のメーカーに問い合わせる必要があります。

維持管理を行ううえで温泉熱利用方法別に考えられる留意点を表 13 に示します。

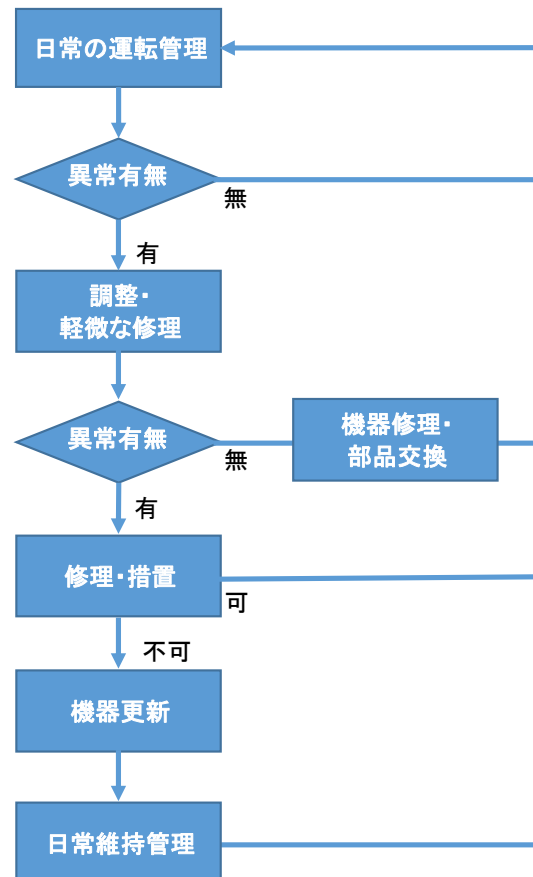


図 25 一般的な維持管理の流れ

表 13 温泉熱利用方法別 維持管理における留意点

温泉熱利用方法	留意点
バイナリー発電	<ul style="list-style-type: none"> ・発電設備内にスケールが付着し、発電量が低下（停止）する恐れがあるため、スケール付着抑制対策もしくはスケール除去対策を行う必要があります。
温水供給（個別）	<ul style="list-style-type: none"> ・熱供給設備内にスケールが付着し、温水生成効率が低下（温水生成が停止）する恐れがあるため、スケール付着抑制対策もしくはスケール除去対策を行う必要があります。
熱供給	
集中配湯	<ul style="list-style-type: none"> ・集中配湯設備内にスケールが付着し、温泉配湯量が低下（停止）する恐れがあるため、スケール付着抑制対策もしくはスケール除去対策を行う必要があります。

温泉熱利用を行ううえで、温泉スケール対策を講じた維持管理を行うことは必須です。

温泉スケールは、同じ泉質でも温度や圧力状態により性質が全く異なるため利用先の状況に応じて他の事例などを参考にしながら対策することが望ましいです。

また温泉スケールは、種類や除去状態によっては産業廃棄物となるため、それらの処理方法までを考慮した除去方法・維持管理方法を検討する必要があります。

(8) 法規制の確認

温泉熱利用を進めていくうえでは、温泉に関わる法律および設備導入に関わる条例などを把握しておくことが望まれます。その他、建築基準法、水道法、建築物衛生法及び地域特有の法規制などがあることも留意しておく必要があります。

表 14 温泉熱利用に関する主な法令（例）※1

法令名	許認可、申請、手続きなど	届出先/申請先
電気利用	鉱山保安法	・温泉付随可燃性天然ガスの掘採を行う場合には、保安規定などの届出が必要 経済産業大臣
	鉱業法	・鉱業権の取得 経済産業局長
	環境影響評価法※2	・環境アセスメントの実施 ※検討段階により異なる
	高圧ガス保安法	・発電事業の実施に際して一定量以上の高圧ガスを使用する場合、事前に届出が必要 都道府県知事、政令指定都市の長
	消防法	・発電事業の実施に際して危険物に指定される物質を一定量以上使用する場合、事前に許可が必要 市町村長など
	FIT 法	・事業計画認定の届出 経済産業局長
	電気事業法	・保安規定の届出 ・電気主任技術者の届出 電気工作物設置場所管轄の産業保安監督部長（2以上の産業保安監督部の管轄区域になる場合は経済産業大臣） ・使用前自主検査の実施 —
熱利用	熱供給事業法	・熱源装置の加熱能力が 21GJ/時を超える場合、「熱供給事業」となるため、事業の登録が必要 経済産業大臣
共通	温泉法	・温泉の湧出のための土地掘削・増掘、動力の設置、温泉の採取の際、許可が必要 都道府県知事
	騒音規制法※3	・騒音の出る機器を使用する場合、届出が必要 都道府県知事(市の区域内の地域は市長)

	振動 規制法 ^{※2}	・振動の出る機器を使用する場合、届出が必要	都道府県知事（市の区域内の地域は市長）
--	-------------------------	-----------------------	---------------------

※1：環境省「地域の再生可能エネルギー事業の健全性を高めるための設備導入者向けマニュアル（案）」
地熱（温泉熱）発電事業共通の主な法令および地熱（温泉熱）利用事業の主な法令をもとに作成

※2：発電の場合、第1種事業（出力 10,000kW 以上）、第2種事業（出力 7,500kW～10,000kW 以上）の場合

※3：ヒートポンプなど圧縮機を搭載した設備などを導入する場合（容量による）

－：該当なし

STEP3 ～導入可能性判断から導入までの流れ～

(9) 詳細検討

- STEP2 までの検討内容で導入可能性があると判断されれば、資金調達方法（補助金利用有無、おおまかな自己負担割合の検討、融資依頼の有無など詳細な金融スキーム）や実施体制（実施体制検討用コンテンツ未記入箇所）の確定など、詳細な実施方針の検討を行います。
- これらの検討結果を踏まえ、実施主体内で経営者の意思決定に至れば、導入に向けた詳細な検討（設計・施工など専門業者への協力依頼、補助金の申請など）にうつります。詳細検討にあたっては、施設の状況を熟知している出入りの設備担当者やメーカー、コンサルタントなどに相談することが考えられます。また、既存施設の図面に記載のある設計者や施工業者など、既存施設の構築に携わった関係者に相談することも考えられます。
- 検討の結果、STEP1・STEP2 で考えていた温泉熱利用方法の導入が難しいとなった場合でも、他の熱利用方法なら可能なケースもあるため、その他の熱利用方法も視野に入れた検討を行うことが望まれます。

4 ケーススタディ

ここでは、温泉熱利用システムのご検討をされる温泉旅館・ホテルのオーナーの方やシステム検討を行う事業者の方など、多くの方に参考としてご活用いただけるよう、実在する温泉地を対象に温泉熱利用システム導入のための実現可能性調査を行った事例を紹介します。

表 15 に示す5つの温泉地を対象とし、バイナリー発電や個別建物での温水利用、面的な熱供給などさまざまなモデルでのケーススタディを示します。

表 15 ケーススタディ事例一覧

ケース No.	対象温泉・対象施設	温泉熱利用モデル
1	A 温泉	バイナリー発電モデル
2	上山田ホテル	温水供給（個別）モデル
3	B 旅館	温泉供給（個別）モデル
4	C 温泉	熱供給モデル
5	D 温泉	集中配湯モデル

ケーススタディでは、「2.3 温泉熱利用導入手順」にしたがって検討を行いました。検討手順に対応した以下の9つの項目について検討結果を示します。

<ケーススタディで提示する項目>

- (1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的
- (2) 対象建物・温泉の概要
- (3) システム構成の検討
- (4) 実施体制の検討
- (5) 資金調達方法の検討
- (6) 導入効果の検討（環境効果、経済効果、事業性評価）
- (7) 維持管理方法の検討
- (8) 法規制の確認
- (9) ケーススタディを通じて抽出された課題とその解決方法（案）
- (10) 温泉熱利用率・排湯利用率

4.1 バイナリー発電モデル事例 - A 温泉

(1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的

- a 市保有の複数温泉をネットワーク化し、市営温浴施設への集中配湯を行っている。供給温度が浴用としては高く（約 65℃）、各温泉利用施設にて加水による冷却を行っているが、その際の水道料金などが負担となっている。
- 温泉の多くは、蒸気・熱水であることから、加水（河川水）により温泉造成を行っているが、河川水の供給量が気候などにより不安定となる。そのため、今後水道水への移行を考えているが、その際の費用負担も課題となっている。
- そこで集中配湯用温泉を熱源としたバイナリー発電を行い、自家発電（託送）を行うとともに、温泉利用施設への温泉供給温度を下げることで加水量の削減を図る。
 - 浴用としては温度が高すぎる集中配湯用の温泉に加水をすることで温泉温度を下げていたのに対し、バイナリー発電により温度を下げるシステムを検討。

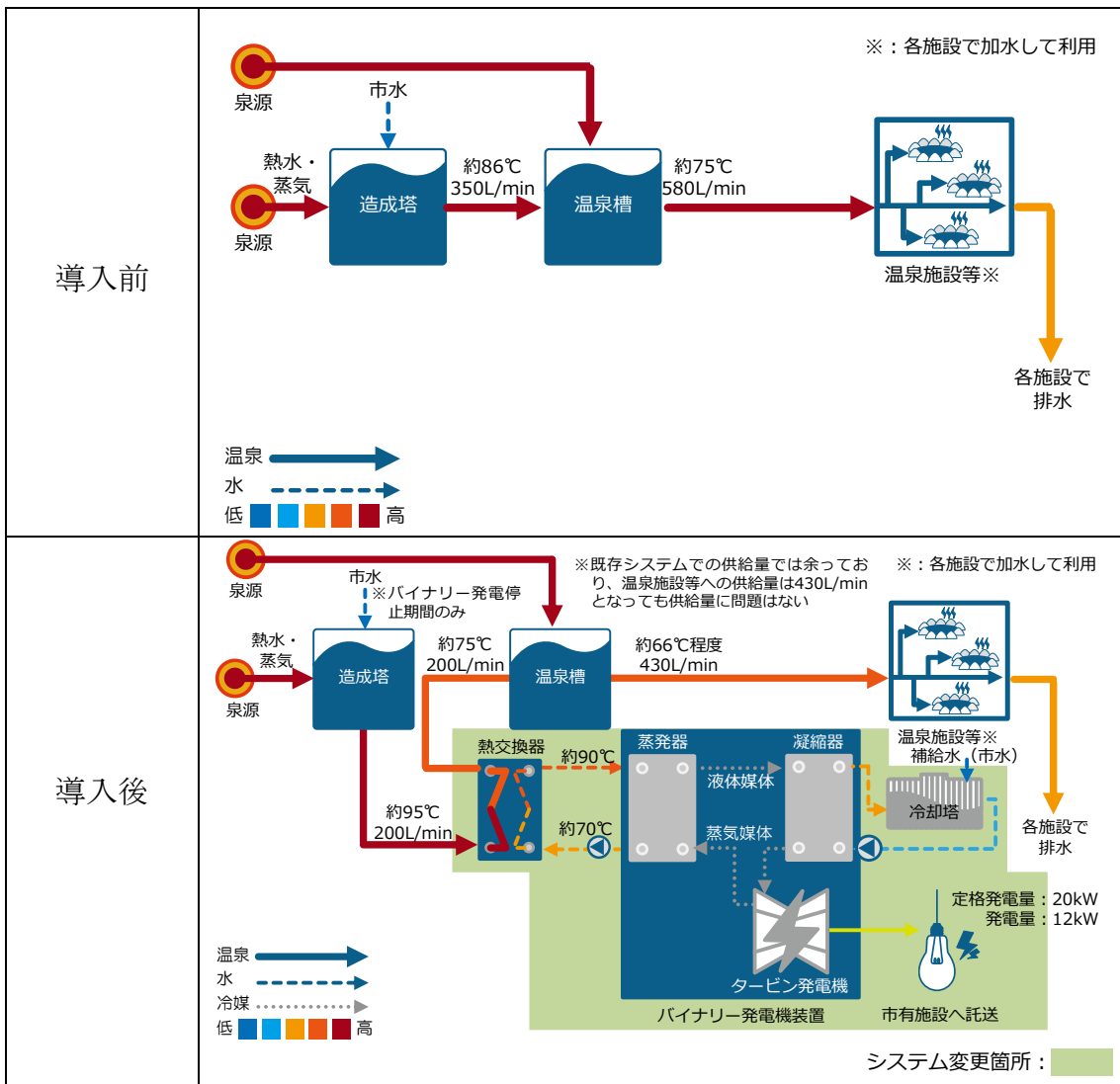
(2) 対象建物・温泉の概要

表 16 温泉概要

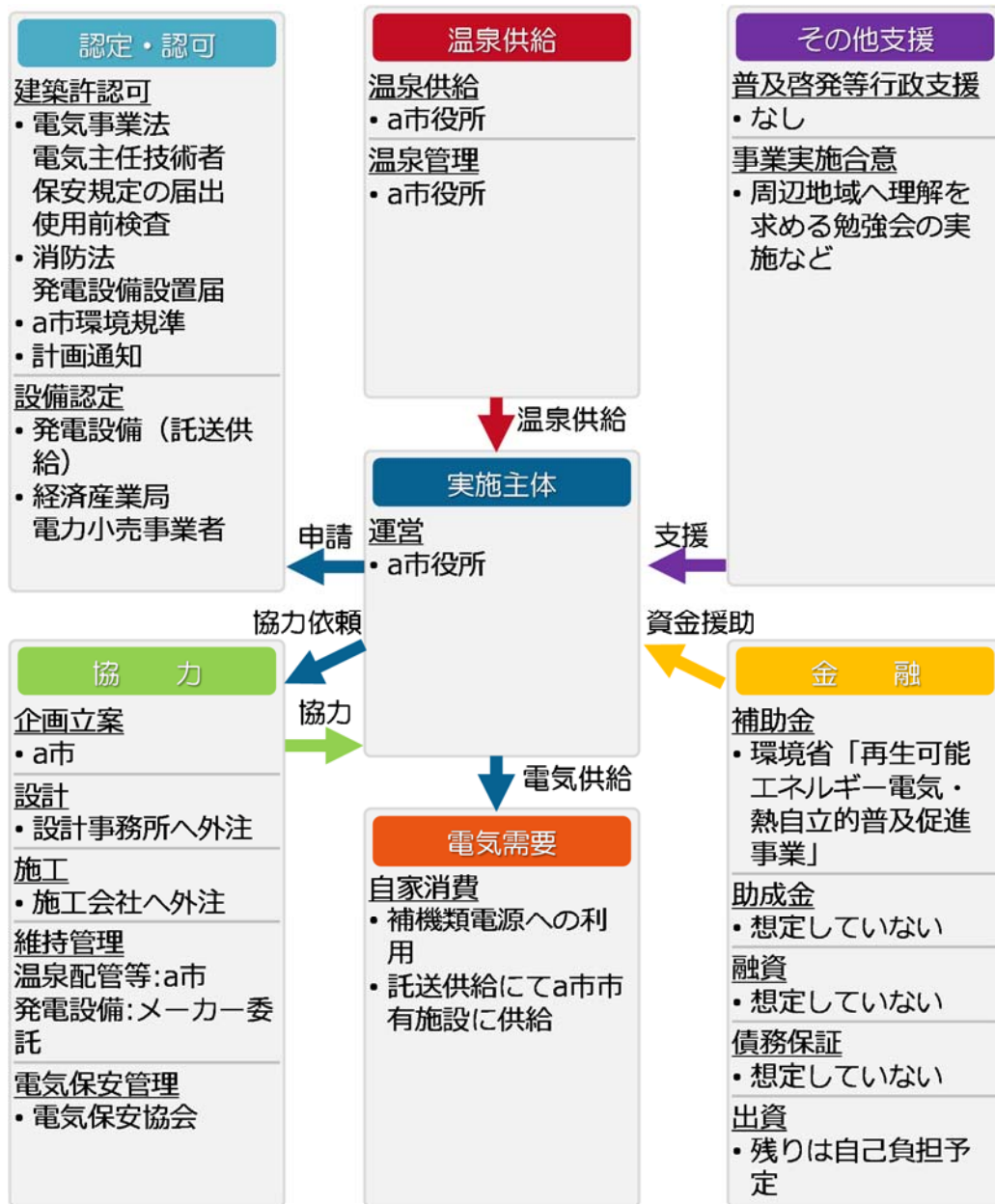
温泉流量	329L/min
温泉温度	86℃（実測値） 88℃（a 市からの提供値）
泉質	単純温泉

(3) システム構成の検討

利用熱源	温泉排湯	温度：95℃→75℃（ $\Delta t=20^\circ\text{C}$ ）
		流量：200L/min
発電需要	自家消費（市有施設へ託送）	
熱源構成	導入前	集中配湯
	導入後	集中配湯＋バイナリー発電
システム上追加した 主な機器	熱交換器 バイナリー発電装置 冷却塔	



(4) 実施体制の検討



(5) 資金調達方法の確認

表 17 適用し得る金融に関する事業スキーム

事業 スキーム	自己実施				ESCO		エネルギー サービス 受託
	自己 資金	借入	リース 取引	PFI	自己 資金型	民間 資金型	
適用 可能性	○	○	○	○	○	○	○

※補助金利用の場合

○：適用可能性が高い △：適用可能性が低い ×：適用可能性が極めて低い

(6) 導入効果の検討

■環境効果・経済効果の検討結果

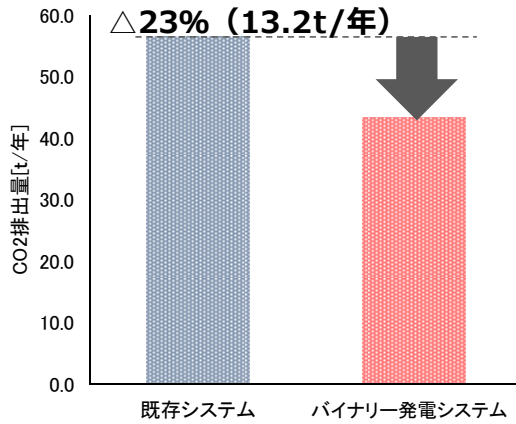


図 26 環境効果
(CO₂削減効果)

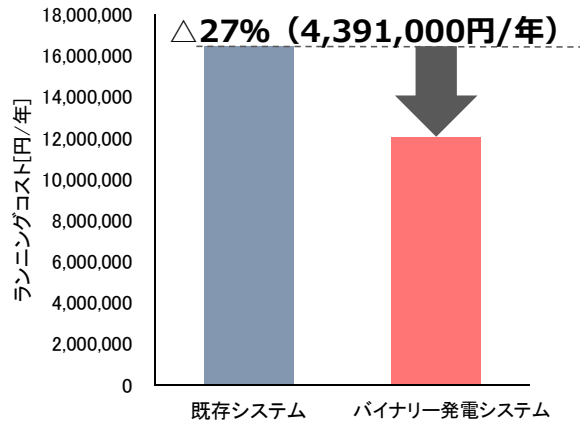


図 27 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 18 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気	水
導入前	63,072kWh/年	120,888m ³ /年 (加水量)
導入後	6,307kWh/年	58,146 m ³ /年 (加水量) 7,096 m ³ /年 (冷却水)

※CO₂排出係数は、電気 0.462kg/kWh、水 0.2kg/m³を利用

表 19 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
導入前	16,420 千円	0 千円
導入後	8,889 千円	3,140 千円

■ 事業性評価の検討結果

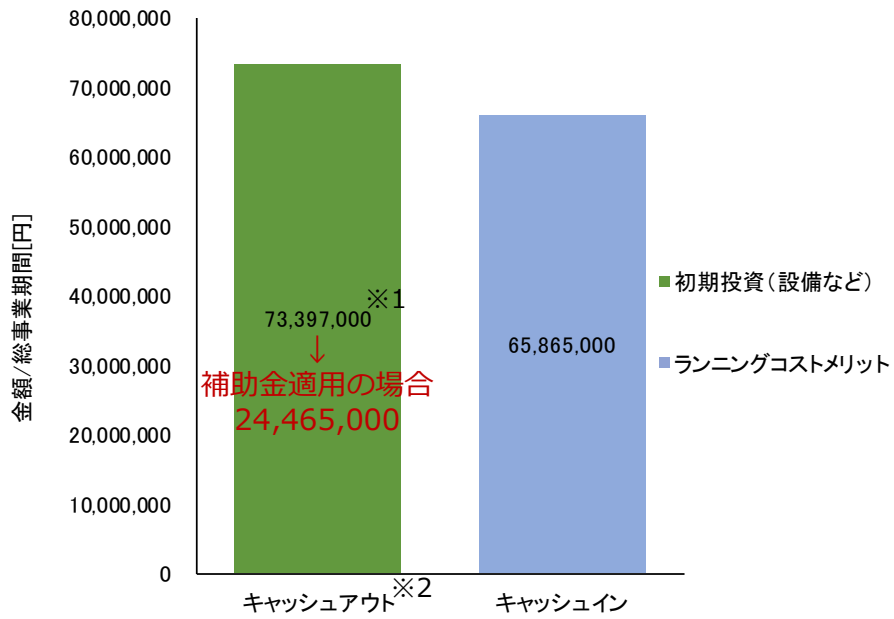


図 28 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: システム図に記載の機器以外に防音壁、各種盤類含む

※2: その他租税公課、(加入する場合は) 損害保険料などが発生する

表 20 投資回収年数

	補助金なし	補助金あり※
投資回収年数 (目安)	約 16.7 年	約 5.6 年

※再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業補助金 2/3 適用想定

※すべての経費が補助対象と認められることが前提

(7) 維持管理方法の検討

表 21 維持管理方法

機器・項目	維持管理方法
温泉スケール	単純泉であり、温泉スケールはあまり付着しないことからスケール対策専用の維持管理は行わない。
点検	目視確認や清掃などの日常点検および定期点検を、採用設備の仕様にあわせ適宜行う。
屋外設置機器	屋外に設置するため、温泉成分の飛散や海沿いであることから、防錆点検として外観の目視確認を行う。

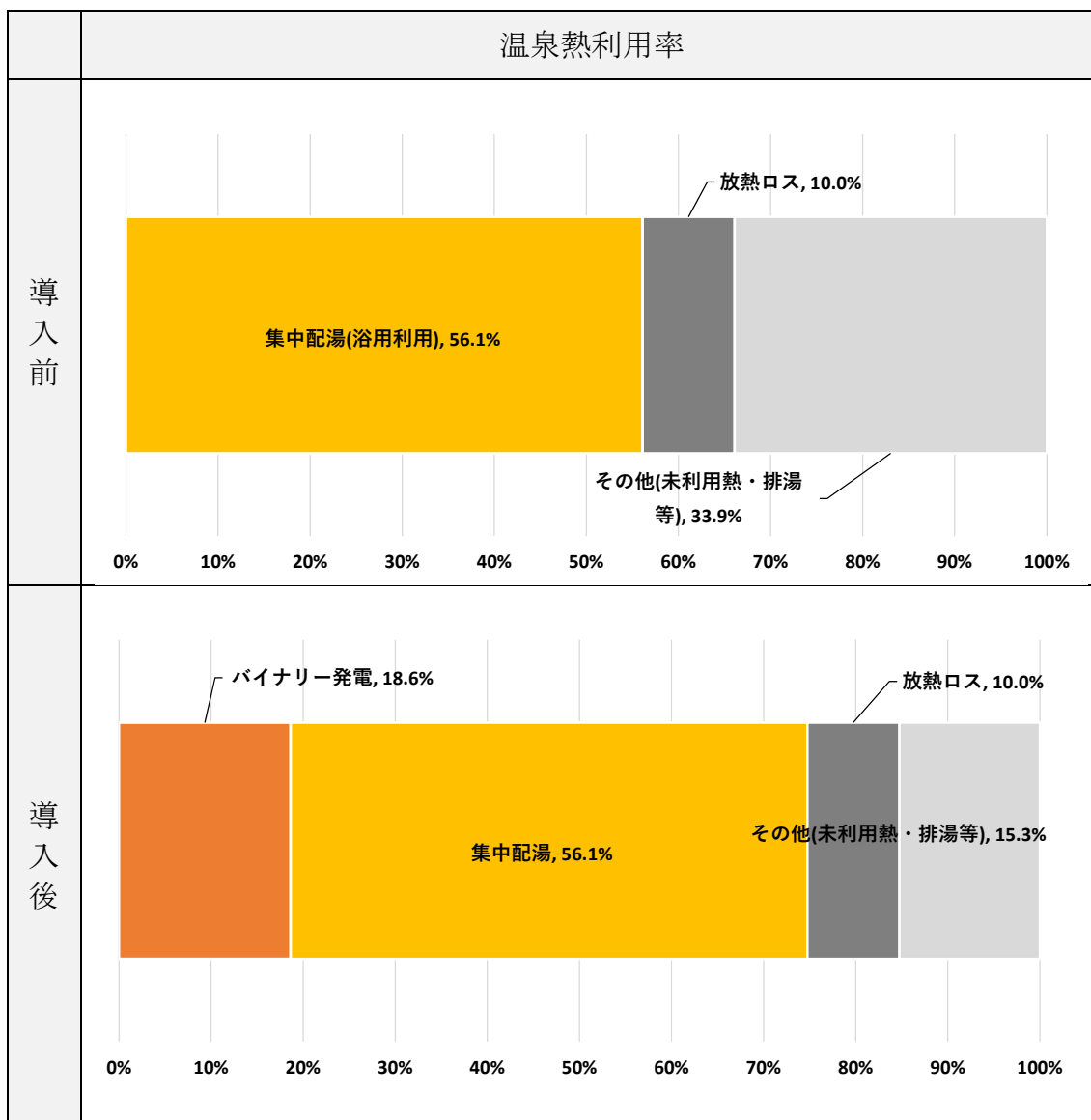
(8) 法規制の確認

- バイナリー地熱発電システムは電気工作物として適用を受けるため、公害防止上の届出（騒音・振動）を行う。
- 電気主任技術者の選任、保安規定の届出、使用前自主検査が必要。
※ただし熱源が 100℃以下であるため、ボイラー・タービン主任技術者、工事計画届、溶接点検、定期点検は不要。

(9) ケーススタディを通じて抽出された課題とその解決方法案

課 題	解決方法 (案)
定格発電量を得られていないが、蒸気量の簡易な計測方法がないため蒸気の直接利用の検討ができない。	コストは高くなるが蒸気量を計測するセンサーの設置も有効な方法である。本試算では、蒸気量を除いた熱水分で検討を実施。ただし、条件に適した発電機の定格発電量を得られない場合があることは留意点である。
冷却水に上水を利用しているため水道料金が大きい。	冷却水および冷却塔補給水に河川水などの利用による水道料金を抑える方法を検討することが有効。 ただし、冷却水および補給水は水質基準が設けられているため、水質の確認や河川水の場合は水利権の発生の有無にも留意が必要。
FITによる売電は、電力会社が受入に対して承諾に難航を示す。	配電網システムの容量が問題なければ、託送も検討項目に入れる。 本試算では、託送による活用とした。
近隣にも旅館などがある街中の地域に発電装置を導入する必要があるため、騒音対策などの検討が必要。	防音壁の設置や建屋の活用なども検討も必要。 本試算では防音壁を見込んだ。

(10) 温泉熱利用率



4.2 温水供給（個別）モデル事例 - 上山田ホテル

(1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的

- 120年の歴史をもつ温泉地だが、観光客数・観光消費額ともに減少傾向にあり、東日本大震災以降、枯渇性資源のさらなる重要性がクローズアップされる中、経費削減が重要な経営課題のひとつとなっている。
- 試行的に温泉排湯の有効利用を行っているが、全面的な利活用には至っていないため、温泉排湯の熱回収を行い、燃料経費削減・CO₂排出量の削減を図る。
 - 温泉排湯を排水として捨てていたのに対し、排湯用熱交換器により排湯を給湯のための上水予熱に利用するシステムを検討。

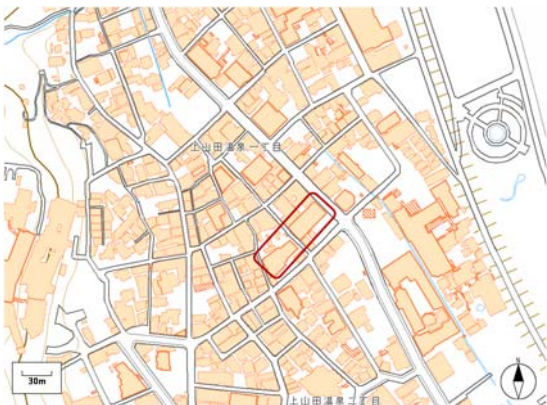
(2) 対象建物・温泉の概要

表 22 対象建物概要

施設名称	上山田ホテル
建物用途	宿泊施設
規模	客室数：40室、収容人数：239人

表 23 温泉概要

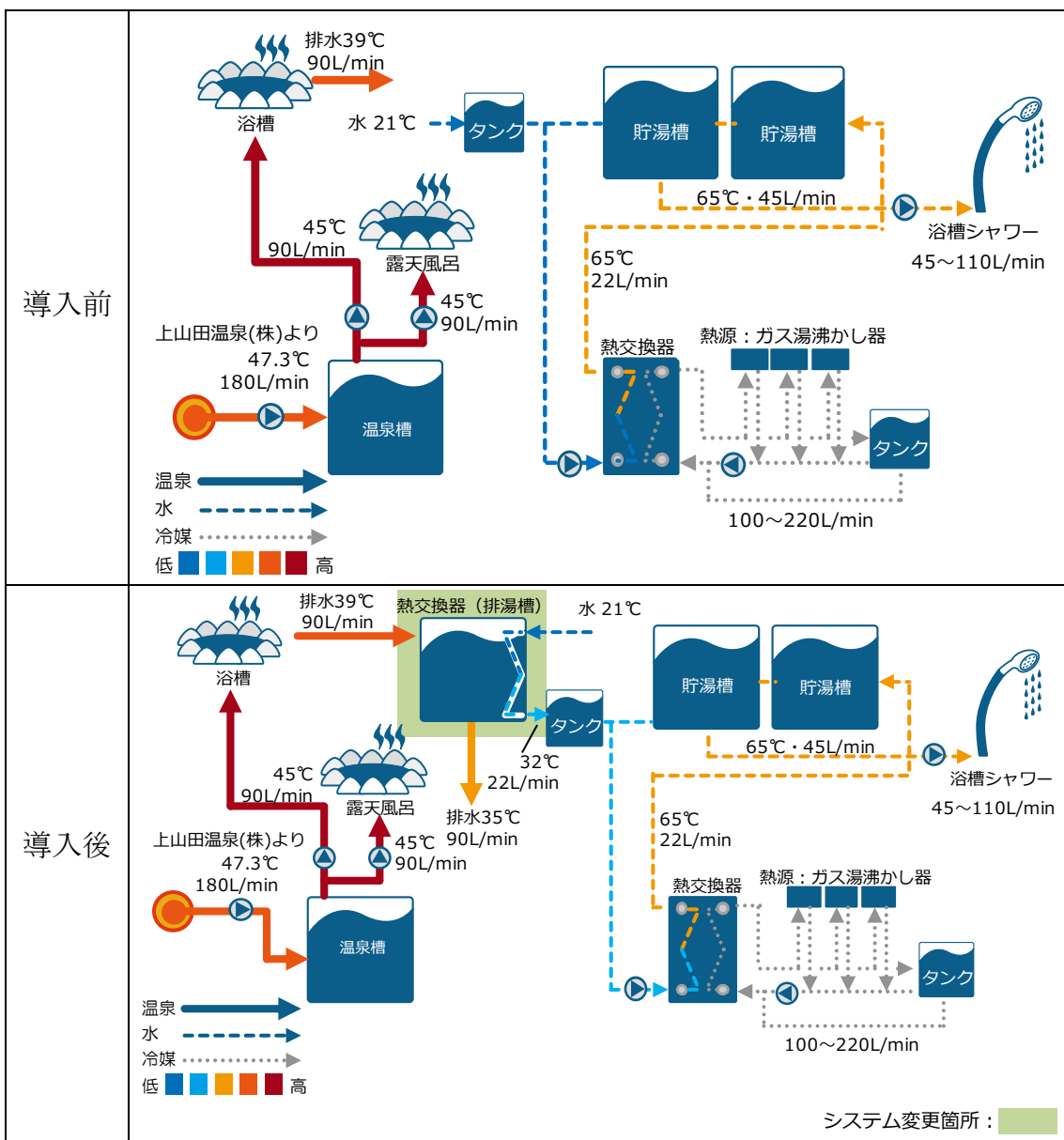
源泉	上山田温泉（株）より供給を受ける
温泉流量	180L/min
温泉温度	47.3℃
泉質	アルカリ性単純硫黄温泉



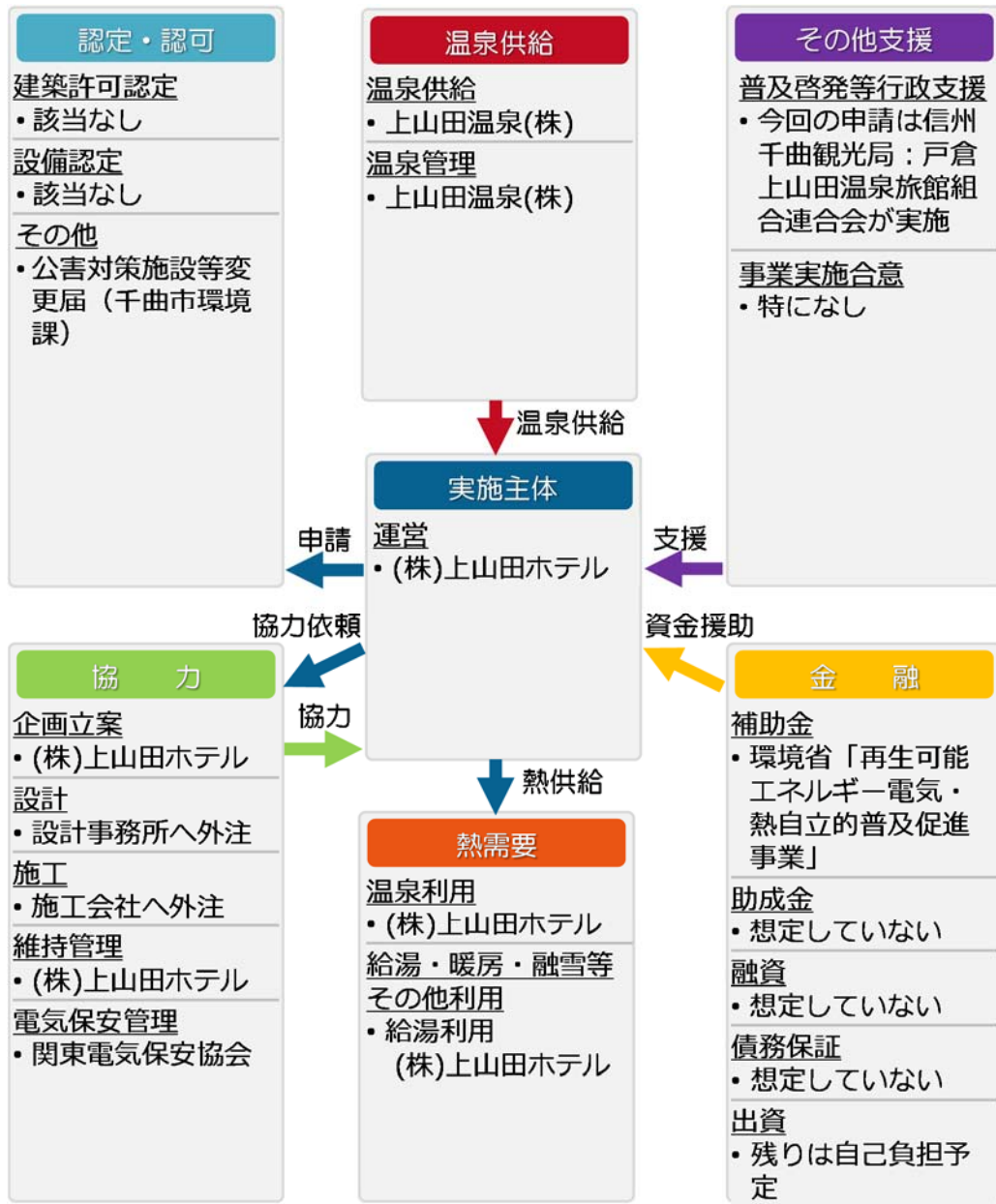
※出典：国土地理院

(3) システム構成の検討

利用熱源	温泉排湯	温度：39℃→35℃ ($\Delta t=5^\circ\text{C}$)
		流量：90L/min
温泉熱需要	施設内の給湯に利用	
熱源構成	導入前	ガス湯沸かし器
	導入後	排湯用熱交換器+ガス湯沸かし器
システム上追加した 主な機器		排湯用熱交換器



(4) 実施体制の検討



(5) 資金調達方法の確認

表 24 適用し得る金融に関する事業スキーム

事業スキーム	自己実施			PFI	ESCO		エネルギーサービス受託
	自己資金	借入	リース取引		自己資金型	民間資金型	
適用可能性	○	○	△	×	×	×	×
				(民間)	(スケールメリットが小さいため)		

○：適用可能性が高い △：適用可能性が低い ×：適用可能性が極めて低い

(6) 導入効果の検討

■環境効果・経済効果の検討結果

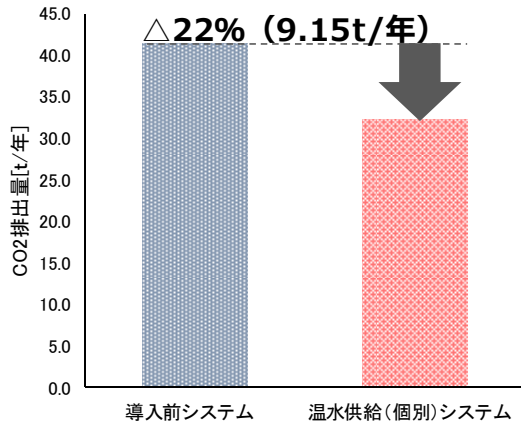


図 29 環境効果
(CO₂削減効果)

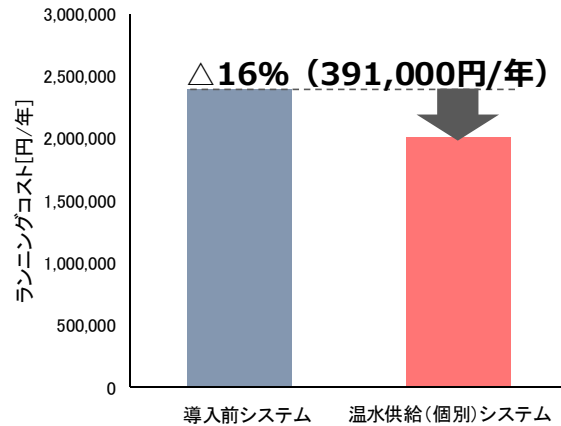


図 30 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 25 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気	ガス
導入前	4,253kWh/年	17,082 m ³ /年
導入後	4,080kWh/年	13,140m ³ /年

※CO₂ 排出係数は、電気 0.486kg/kWh、灯油 2.3kg/m³ を利用

表 26 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
導入前	2,397 千円	0 千円
導入後	2,006 千円	0 千円

■ 事業性評価の検討結果

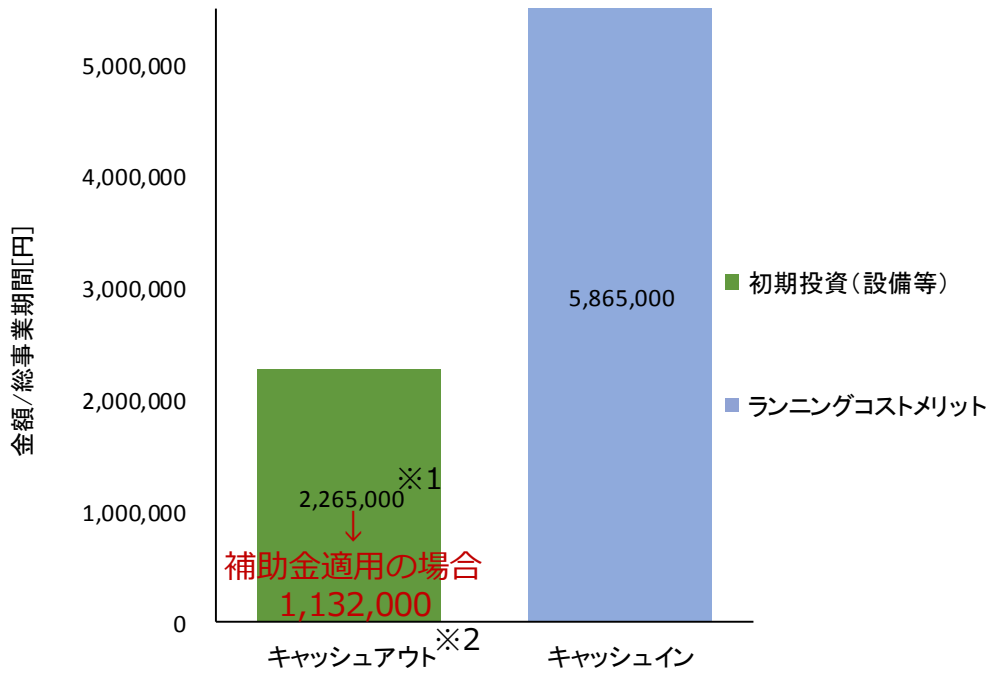


図 31 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: システム図に記載の機器のみ

※2: その他租税公課、(加入する場合は) 損害保険料などが発生する

表 27 投資回収年数

	補助金なし	補助金あり※
投資回収年数 (目安)	約 5.8 年	約 2.9 年

※再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業補助金 1/2 適用想定

※すべての経費が補助対象と認められることが前提

(7) 維持管理方法の検討

表 28 維持管理方法

機器	維持管理方法
温泉スケール	温泉スケールはあまり付着しないことからスケール対策専用の維持管理は行わない。
点検	目視確認や清掃などの日常点検および定期点検を、採用設備の仕様にあわせ適宜行う。
熱交換器	温度が低く、温泉スケールよりもバイオフィルムが付着することから、熱交換器の自動洗浄機構による洗浄を行う（5ストローク/回、2回/日）。

(8) 法規制の確認

- 当該検討は設備機器の一部改修工事であり、宿泊業は公害対象施設にあたることから「公害対象施設等変更届」を千曲市へ提出する必要がある。
※なお新設の場合は「公害対象施設等届出」の提出が必要となる
- 騒音および振動規制法による特定施設届出対象機械は使用しないことから「騒音・振動規制法による特定施設の届出」は不要。

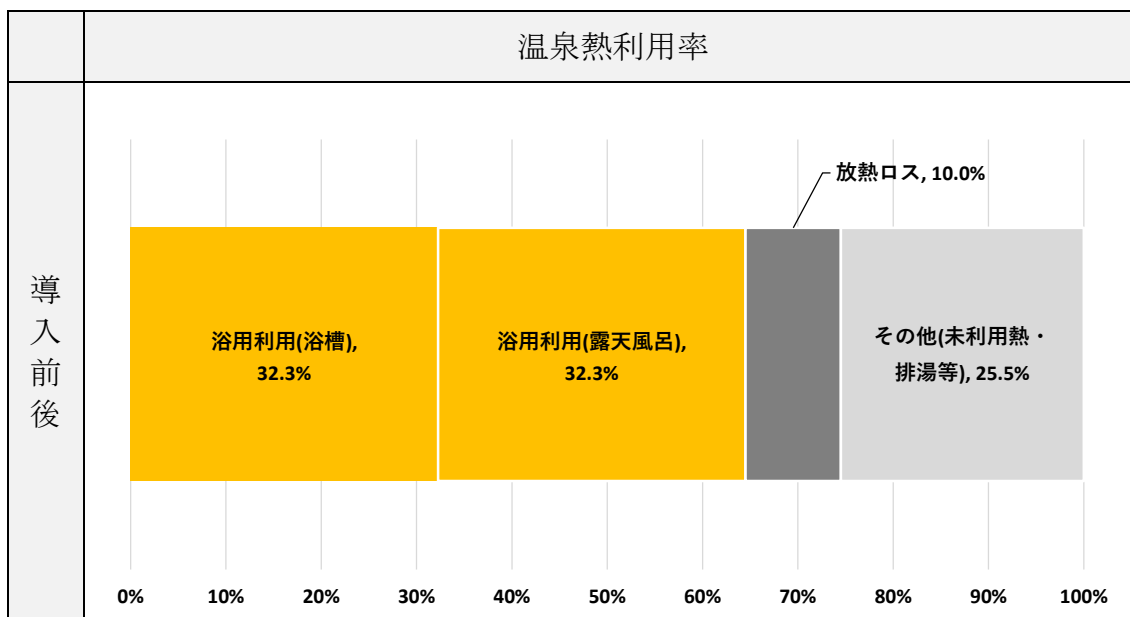
(9) ケーススタディを通じて抽出された課題とその解決方法案

課題	解決方法（案）
排湯利用をする場合、熱源位置（または熱交換器の位置）と排湯ルートのある程度近接している必要がある。	既存システムについてはしっかりと調査をする必要がある。 本検討では、排湯と熱源の位置が直近であることを確認した。
排湯熱利用だけでは未利用熱を使いきれない場合もある点は注意が必要。	排湯熱利用後の温水を、ボイラーではなくヒートポンプにより昇温するシステムも検討を行った。 比較的小規模な施設であるため、熱需要量が小さくコストメリットが小さい。暖房や融雪などその他の熱利用先の確認をすることも望ましい。

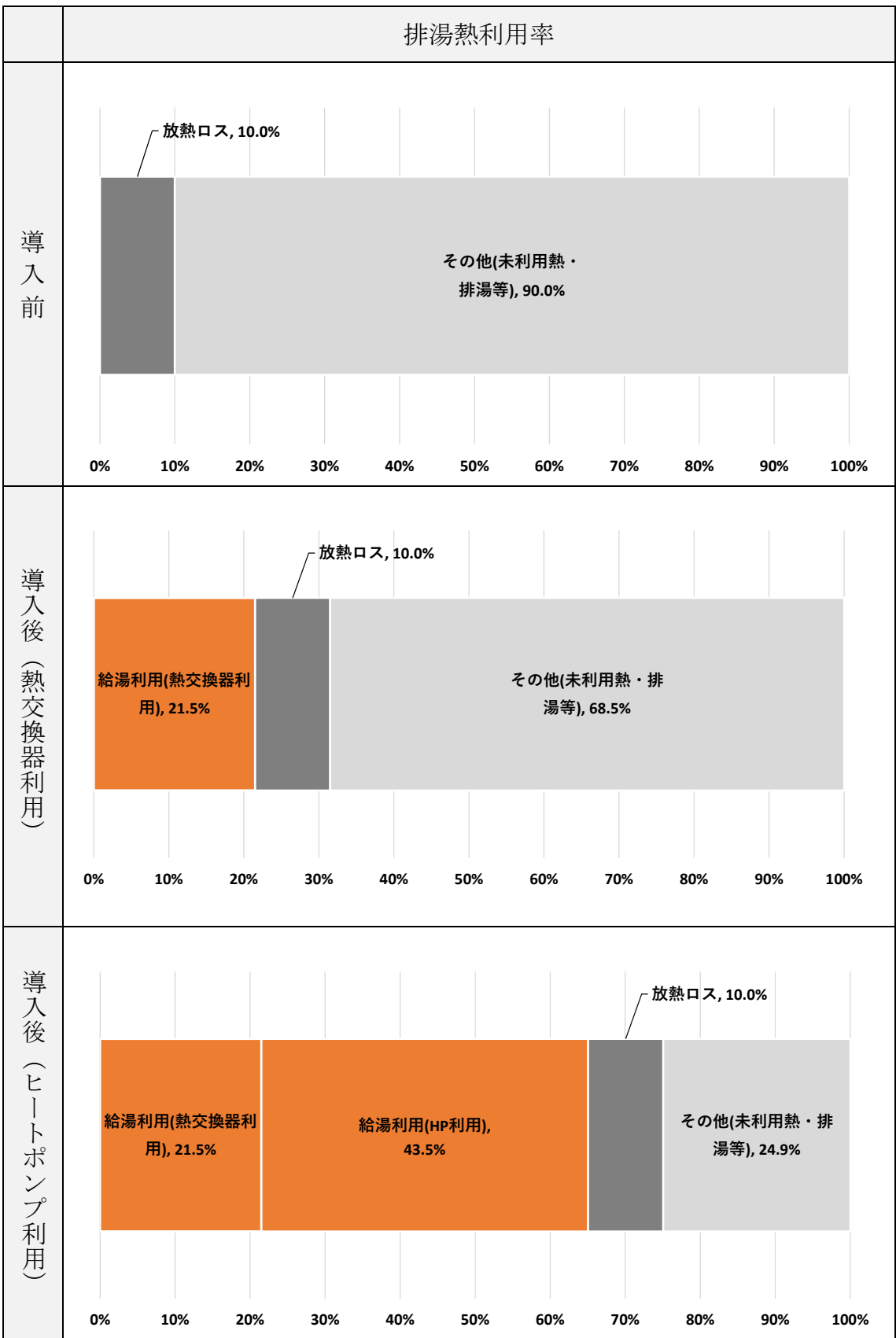
温泉供給（個別）システム※さらなる省エネ提案

システム概要	<p>システム変更箇所：</p>
初期投資	21,356,000 円 ※補助金なし 10,678,000 円 ※補助金 1/2 適用想定
主な設備機器	排湯用熱交換器、ヒートポンプ
CO ₂ 削減量	24.38t
ランニングコスト削減量	1,029,000 円
投資回収年数（目安）	20.8 年 ※補助金なし 10.4 年 ※補助金 1/2 適用想定

(10) 温泉熱利用率・排湯熱利用率



※排湯熱利用のため、温泉熱利用率は導入前後で変わらない



4.3 温水供給（個別）モデル事例 - B 旅館

(1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的

- 温泉施設の再建を進めており、バイナリー発電施設の導入により、電気使用量低減、CO₂排出量の削減、ランニングコストの低減、旅館の再建に伴うイメージアップを期待していた。
- しかし、検討の結果、バイナリー発電では導入効果が見込めないため、温水供給（個別）で検討を行うこととした。
 - ▶ 浴用としては温度が高すぎる温泉に加水をすることで温泉温度を下げていたのに対し、熱交換器により温度を下げる、回収した熱で温水を作るシステムを検討。作った温水は、カランや洗面に利用することで、光熱費の削減、CO₂排出量の削減を図る。
※バイナリー発電モデルでの検討結果は、p.71「(11) 参考：バイナリー発電モデルでの検証結果」に示す。

(2) 対象建物・温泉の概要

表 対象建物概要

施設名称	B 旅館
建物用途	宿泊施設
規模	526.54 m ²

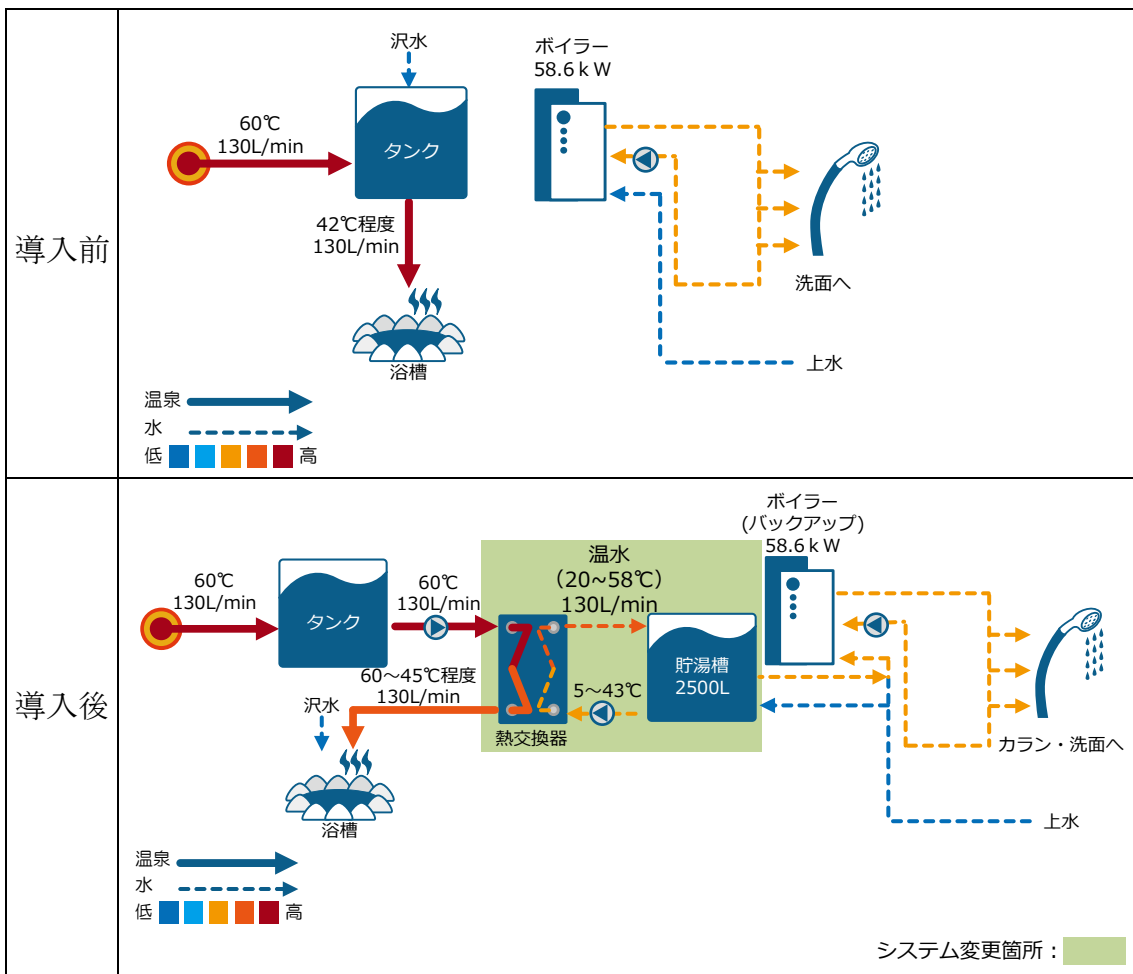
表 温泉概要

温泉流量	130.0L/min (実測値) ※24.0L/min
温泉温度	60.0℃(実測値) ※71.9℃
泉質	単純硫黄温泉

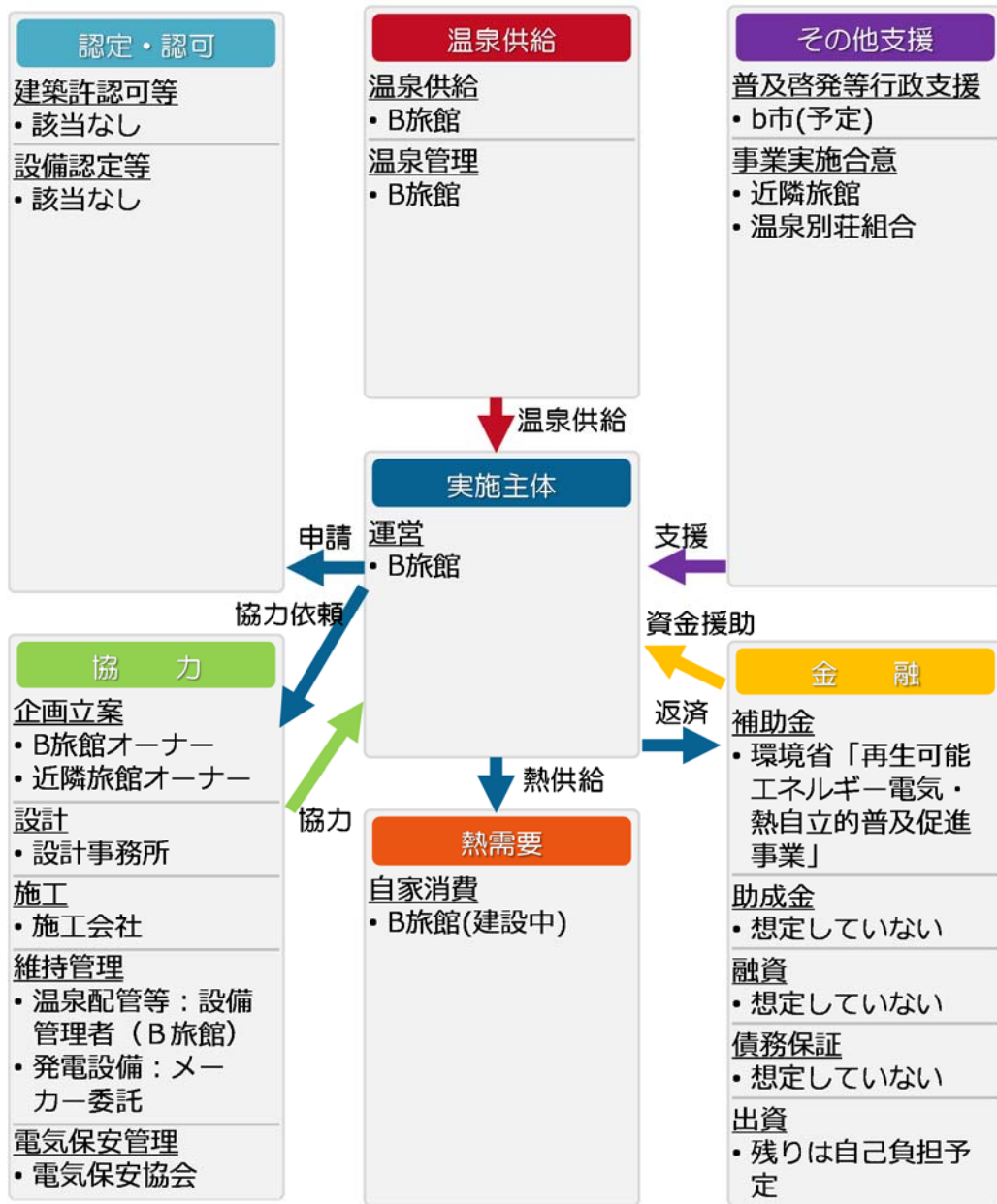
※温泉分析書の値（泉源における測定値）であり、沢水の流入などにより、実際の温泉利用場所における流量、および温度（実測値）と異なる

(3) システム構成の検討

利用熱源	温泉排湯	温度：60℃→45℃（ $\Delta t=15^\circ\text{C}$ ）
		流量：130L/min
温泉熱需要	自家消費	
熱源構成	導入前	浴用利用のみ
	導入後	浴用利用+温水供給（個別）
システム上追加した 主な機器		熱交換器



(4) 実施体制の検討



(5) 資金調達方法の確認

表 29 適用し得る金融に関する事業スキーム

事業スキーム	自己実施			PFI	ESCO		エネルギーサービス受託
	自己資金	借入	リース取引		自己資金型	民間資金型	
適用可能性	○	○	△	× (民間)	× (スケールメリットが小さいため)	×	×

○：適用可能性が高い △：適用可能性が低い ×：適用可能性が極めて低い

(6) 導入効果の検討

■環境効果・経済効果の検討結果

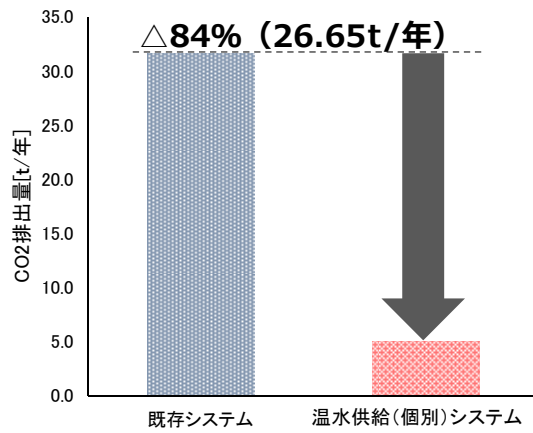


図 32 環境効果
(CO₂削減効果)

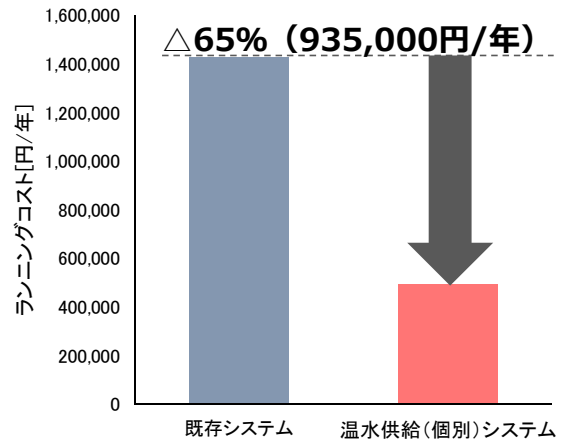


図 33 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 30 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気	灯油
導入前	253kWh/年	12,643L
導入後	7,017kWh/年	460L

※CO₂排出係数は、電気 0.545kg/kWh、灯油 2.49kg/L を利用

表 31 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
導入前	1,352 千円	76 千円
導入後	151 千円	342 千円

■ 事業性評価の検討結果

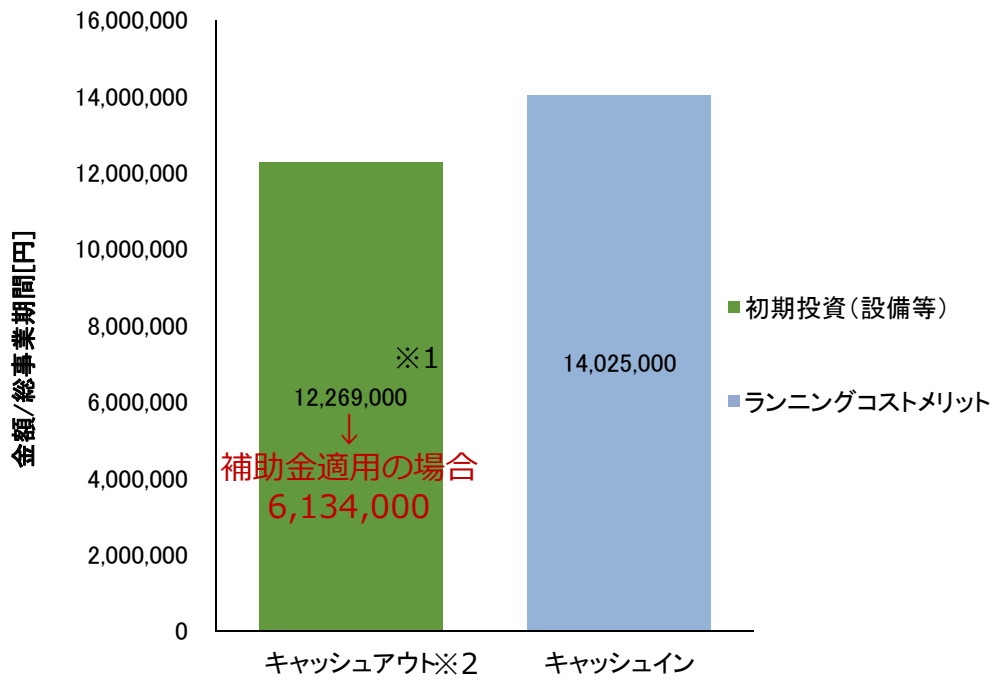


図 34 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: システム図に記載の機器のみ

※2: その他租税公課、(加入する場合は) 損害保険料などが発生する

表 32 投資回収年数

	補助金なし	補助金あり※
投資回収年数 (目安)	約 13.1 年	約 6.6 年

※再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業補助金 1/2 適用想定

※すべての経費が補助対象と認められることが前提

(7) 維持管理方法の検討

表 33 維持管理方法

機器	維持管理方法
温泉スケール	硫黄泉であり硫黄質の温泉スケールが付着することから、定期的なスケール除去対策を行う。
点検	目視確認や清掃などの日常点検および定期点検を、採用設備の仕様にあわせ適宜行う。

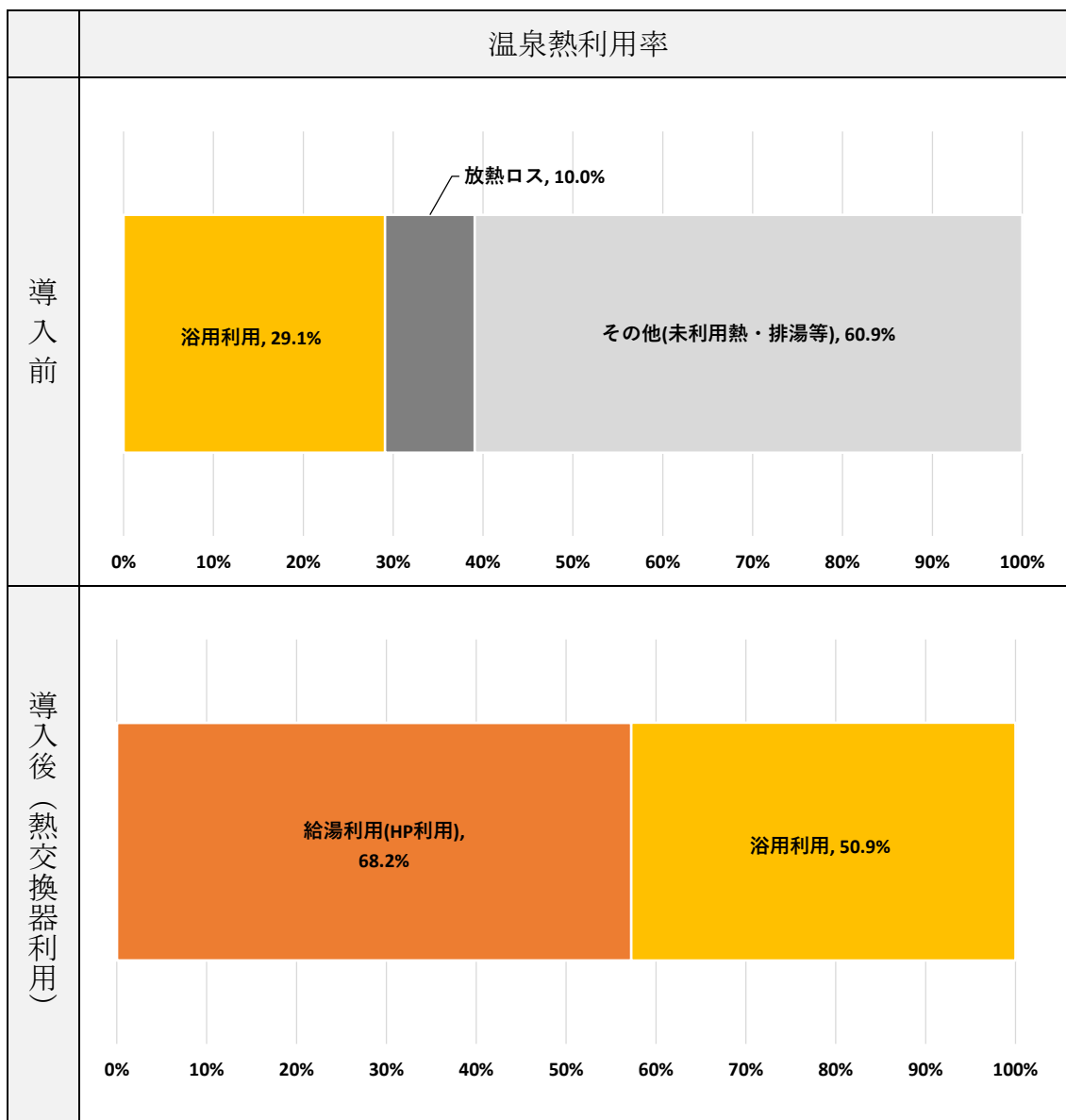
(8) 法規制の確認

- 該当なし（新たに導入する設備は騒音規制法および振動規制法による特定施設設置には該当しないため）

(9) ケーススタディを通じて抽出された課題とその解決方法案

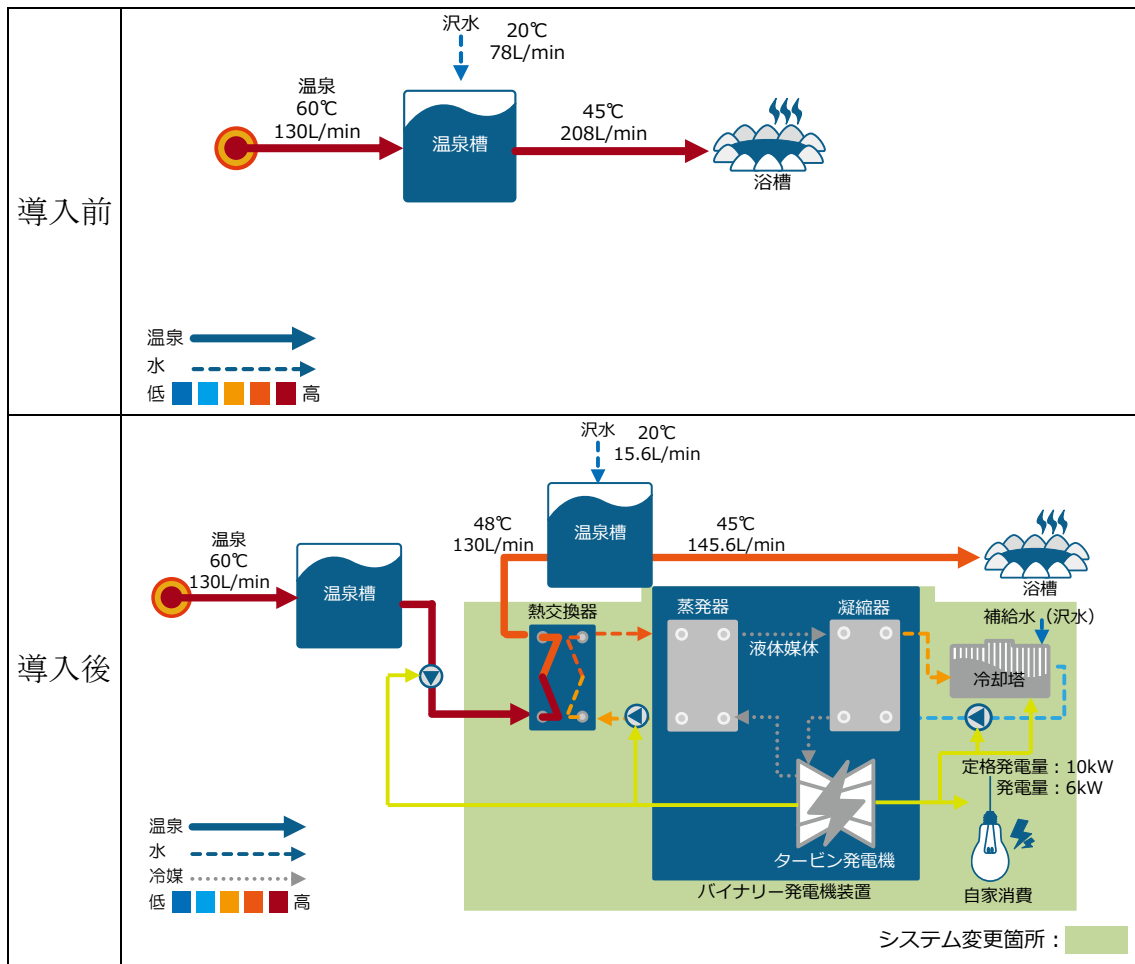
課題	解決方法（案）
温水供給に利用する場合、予定の温泉温度と流量の把握が必要。	対象温泉の利用場所における温度と流量を把握する必要がある。 本検討では、現地で計測を行い、対象温泉の温度と流量の把握をすることが必要である。
近隣に別の旅館がある地域にポンプなどの騒音の発生源となる機器を利用するため、騒音対策などの検討が必要。	騒音の発生源となるポンプや補助熱源機器は基本的に機械室内に設置するなど、騒音の影響が小さくなるような機器スペースを検討する。本検討では、室内の機械室内設置を見込んだ。
温泉スケール（鉄分）の付着が懸念されるため、配管や熱交換器のメンテナンスが行いやすいシステムの検討が必要。	配管は取り外しのしやすいよう継手を多めに用意し、熱交換器は締め付けボルトを外すだけで容易に点検、洗浄が可能なプレート式熱交換器を採用した。

(10) 温泉熱利用率



(11) 参考：バイナリー発電モデルでの検証結果

概要	浴用のみに使用していた温泉を用いたバイナリー発電システムを検討	
利用熱源	温泉排湯	温度：60℃→48℃（ $\Delta t=12^\circ\text{C}$ ）
		流量：130L/min
温泉熱需要	自家消費	
熱源構成	導入前	浴用利用のみ
	導入後	浴用利用+バイナリー発電
システム上追加した 主な機器	熱交換器、バイナリー発電装置、冷却塔	



■環境効果・経済効果の検討結果

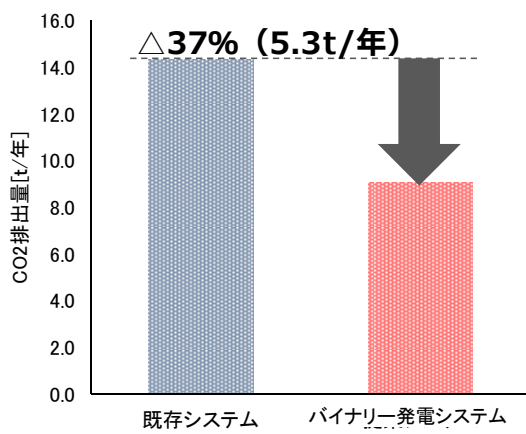


図 35 環境効果
(CO₂削減効果)

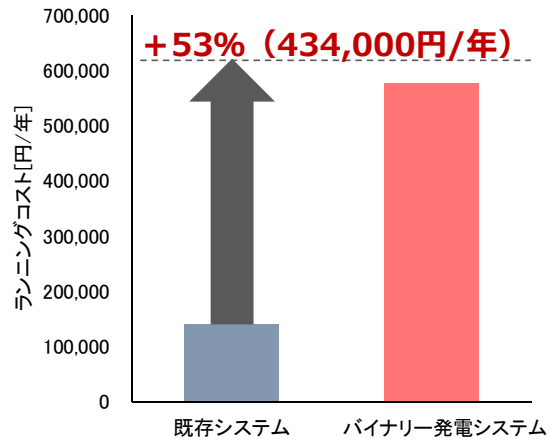


図 36 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 34 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気
導入前	26,280kWh/年
導入後	16,644kWh/年

※CO₂排出係数は、電気 0.545kg/kWh を利用

表 35 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
導入前	383 千円	0 千円
導入後	242 千円	575 千円

■ 事業性評価の検討結果

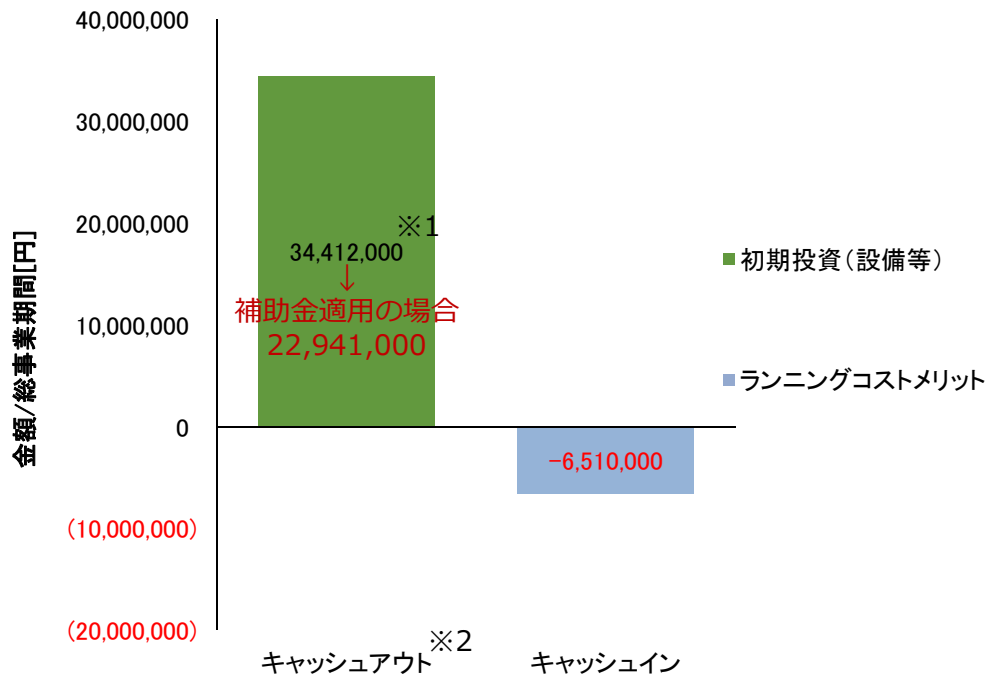


図 37 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: システム図に記載の機器以外に建屋、各種盤類を含む

※2: その他租税公課、(加入する場合は) 損害保険料などが発生する

表 36 投資回収年数

	補助金なし
投資回収年数 (目安)	ランニングコストメリットがないため、投資回収年数算出不可

4.4 熱供給モデル事例 - C 温泉

(1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的

- c 市の温泉は蒸気と熱水が自噴しているため、高温温泉（75℃）を造成し、複数の温泉をネットワーク化することで民間や市営の施設に温泉の集中配湯を行っている。供給温度が高いことから各温泉利用施設において加水などによる冷却を行っているが、その際の水道料金などが各施設の大きな負担となっている。
- 本 FS 検討では、集中配湯により供給された温泉を熱源とし、周辺施設へ熱供給を行い、温泉利用施設への温泉供給温度を下げることで温度調節による加水を抑えるとともに、周辺施設の燃料経費削減・CO₂排出量の削減を図る。
 - 浴用としては温度が高すぎる温泉に加水をすることで温泉温度を下げているのに対し、熱交換器により温度を下げるシステムを検討。作った温水は周辺の給湯需要施設へ供給。

(2) 対象建物・温泉の概要

表 37 対象建物概要

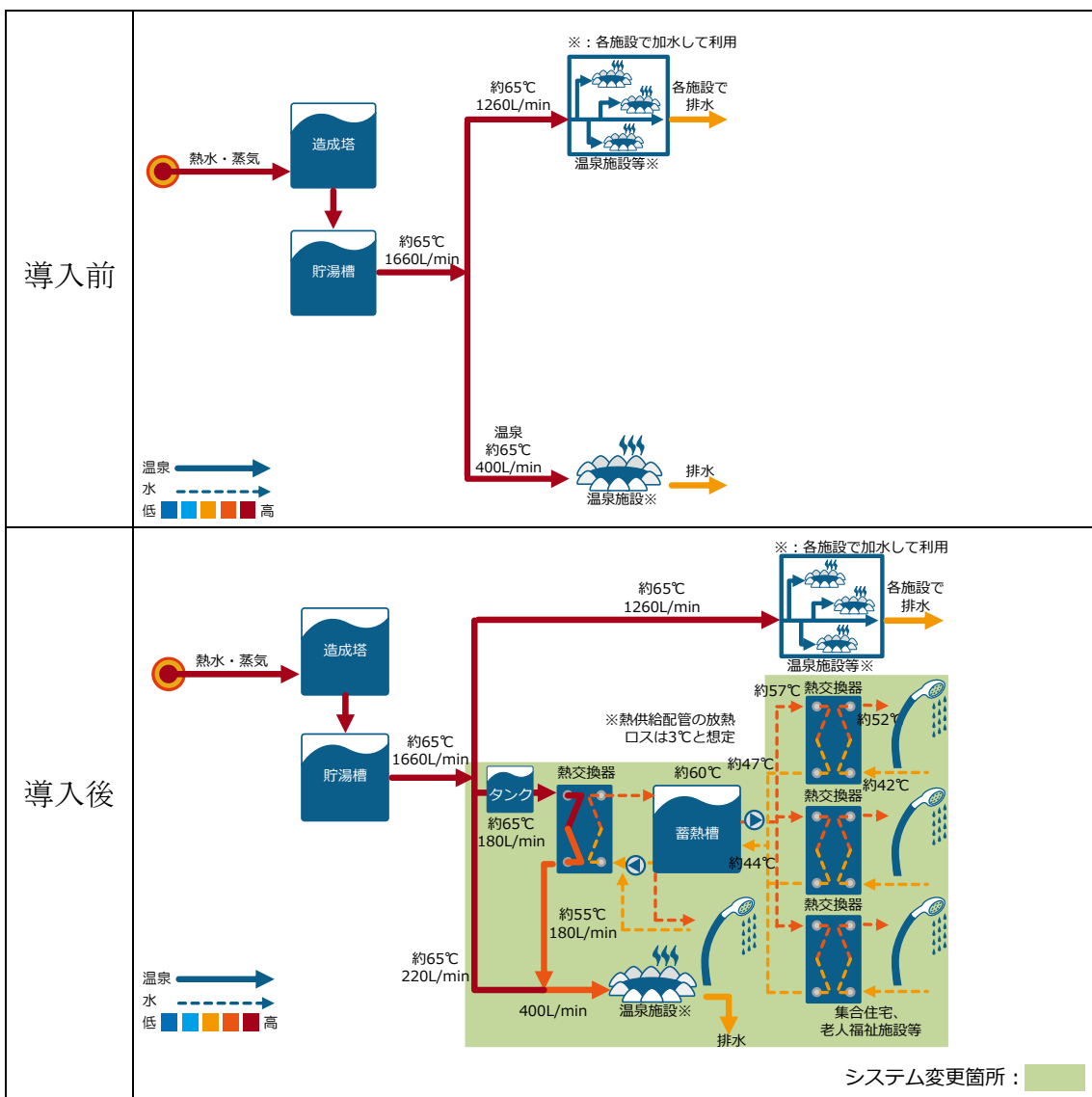
施設名称	温浴施設
建物用途	温浴施設
規模	※規模不明

表 38 温泉概要

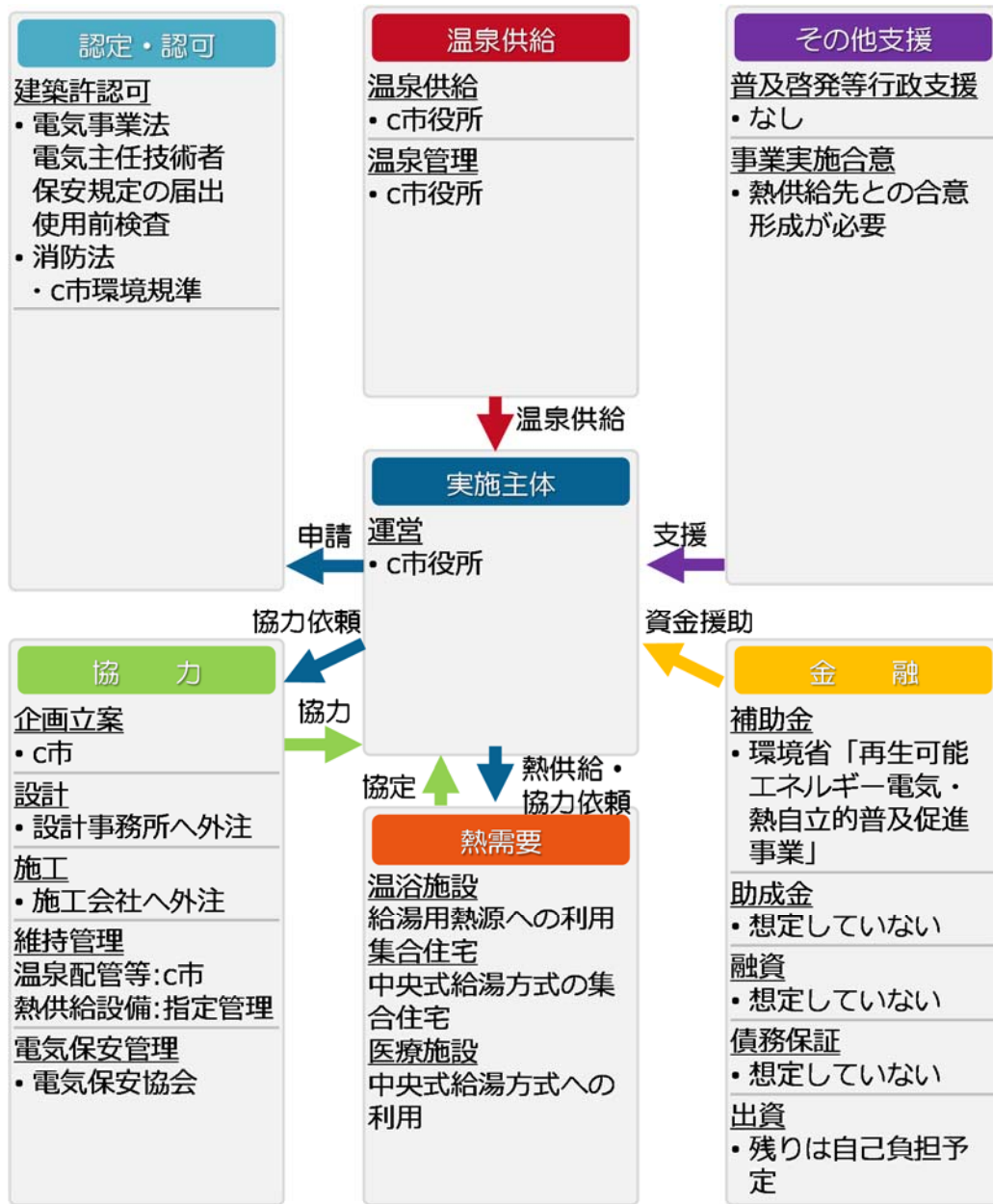
源泉	市営温泉より供給
温泉流量	400L/min
温泉温度	65℃
泉質	単純泉

(3) システム構成の検討

利用熱源	温泉 (高温水)	65°C→55°C ($\Delta t=10^\circ\text{C}$)
		流量：180L/min
温泉熱需要	検討対象施設周辺の給湯需要がある施設 (集合住宅、医療施設など)	
熱源構成	導入前	集中配湯
	導入後	集中配湯+熱供給
システム上追加した 主な機器	熱交換器 蓄熱槽	



(4) 実施体制の検討



(5) 資金調達方法の確認

表 39 適用し得る金融に関する事業スキーム

事業スキーム	自己実施			PFI	ESCO		エネルギーサービス受託
	自己資金	借入	リース取引		自己資金型	民間資金型	
適用可能性	○	○	○	○	○	○	○

○：適用可能性が高い △：適用可能性が低い ×：適用可能性が極めて低い

(6) 導入効果の検討

環境効果・経済効果の検討結果

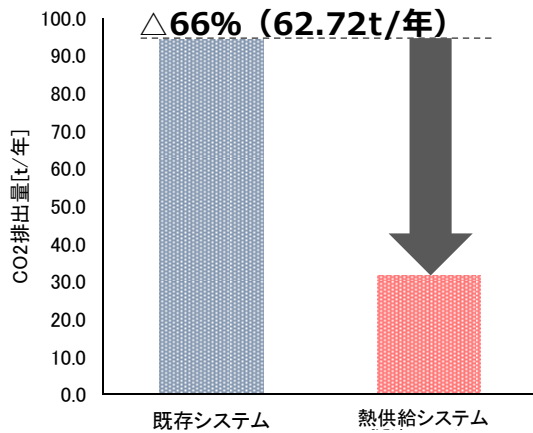


図 38 環境効果
(CO₂削減効果)

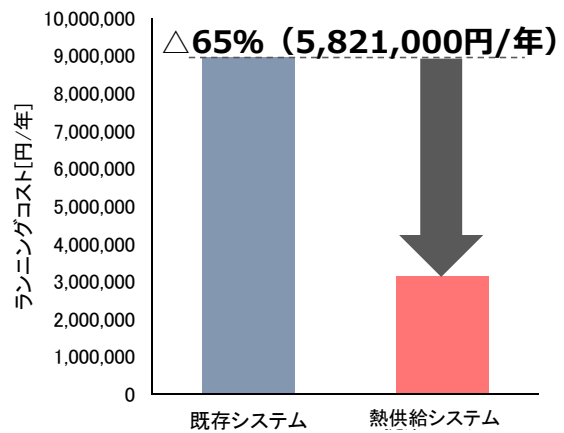


図 39 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 40 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気	ガス	水
導入前	-	41,203m ³ /年	10,141m ³ /年
導入後	68,328kWh/年	-	-

※CO₂排出係数は、電気 0.462kg/kWh、ガス 2.29kg/L を利用

表 41 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
導入前	6,486 千円 (熱利用施設合計) 2,474 千円 (温浴施設)	0 千円
導入後	1,154 千円 (温浴施設)	1,985 千円 (温浴施設)

■ 事業性評価の検討結果

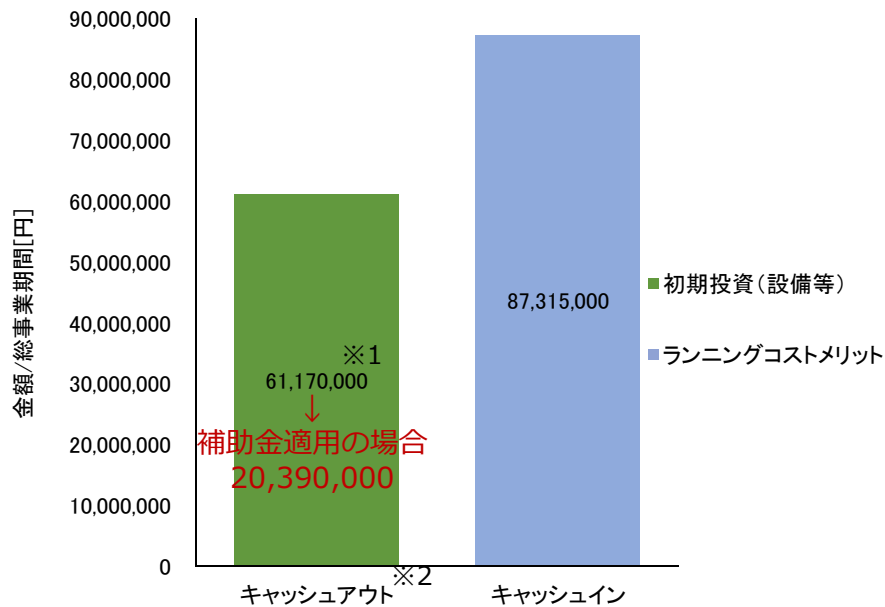


図 40 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: システム図に記載の機器以外に各種盤類含む

※2: その他租税公課、(加入する場合は) 損害保険料などが発生する

表 42 投資回収年数

	補助金なし	補助金あり※
投資回収年数 (目安)	約 10.5 年	約 3.5 年

※再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業補助金 2/3 適用想定

※すべての経費が補助対象と認められることが前提

(7) 維持管理方法の検討

表 43 維持管理方法

項目・機器	維持管理方法
温泉スケール	温泉スケールはあまり付着しないことからスケール対策専用の維持管理は行わない。
点検	目視確認や清掃などの日常点検および定期点検を、採用設備の仕様にあわせ適宜行う。
屋外設置機器	温泉成分の飛散や海沿いであることから、防錆点検として外観の目視確認を行う。

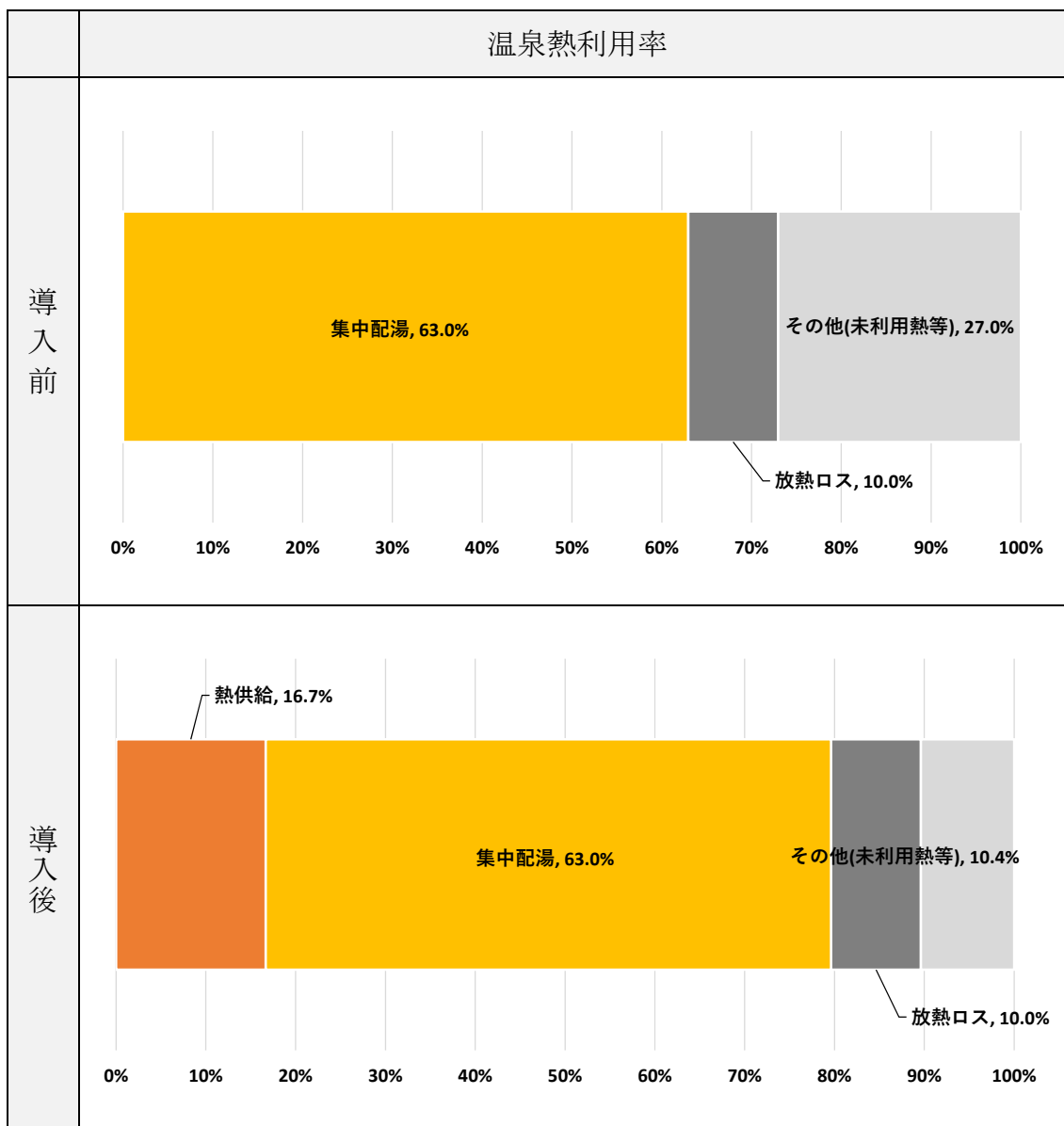
(8) 法規制の確認

- 周辺が住宅地であり、騒音の発生源となる機器への対策が必要となるため、騒音規制法の特定施設届出をc市へ提出する必要がある
- 当該検討では、熱源設備の加熱能力が21GJ/時以下となるため、熱供給事業法には抵触しない。

(9) ケーススタディを通じて抽出された課題とその解決方法案

課題	解決方法（案）
熱供給先との合意形成が必要。	c市役所主導による熱供給事業検討会を実施したり、ステークホルダー間で合意形成を得るための協議の場（協議会など）を設ける。
事業スキーム（温泉熱の売買価格および条例改正など）の検討が必要。	市内部において条例改正の検討などを行い事業スキームの検討やマスタープランの作成を進める。
周辺施設へ熱供給を行う場合、需要家側において受入設備の改修工事が必要。 特に集合住宅に適用する場合は、給湯方式が異なるため中央方式のシステムかどうかの検討も必要。	既存建物の詳細なシステムなどの調査を行い、熱供給の受け入れの検討が必要。 本試算では、供給先の施設までの導管は見込んだが、供給先の設備改修は見込んでいない。
メンテナンス時や温泉状況変化に対応するための、熱源のバックアップ（補助熱源）について検討が必要。	送水温度を安定化させ、契約を担保するためにも、バックアップ（補助熱源）として安価な熱源（ボイラーなど）の導入も有効。
住宅地内となるため、騒音対策が必要となる場合がある。	騒音の発生源となるポンプや補助熱源などについては、塩害対策とあわせて機械室の設置を検討する。 屋外に設置する場合は、目視確認などの劣化状況把握を定期的に行う。

(10) 温泉熱利用率



4.5 集中配湯モデル事例（熱源変更） - D 温泉

(1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的

- D 温泉では、温泉の有効活用と地下資源保護を図るため、集中管理による循環配湯方式（集中配湯モデル）を採用し、市営による温泉の配湯を行っている（すでに何度か改修工事も行っている）。
- 温泉温度が 45.0℃程度であるため通常はそのまま配湯しているが、温泉温度の下がる冬場は補助熱源による加温後配湯している。現在、この補助熱源運転にかかる費用が負担となっている。
 - 浴用としては温度が低すぎる集中配湯用温泉を真空ヒーターにより加温していたのに対し、ヒートポンプにより加温するシステムを検討。

(2) 対象建物・温泉の概要

表 44 対象建物概要

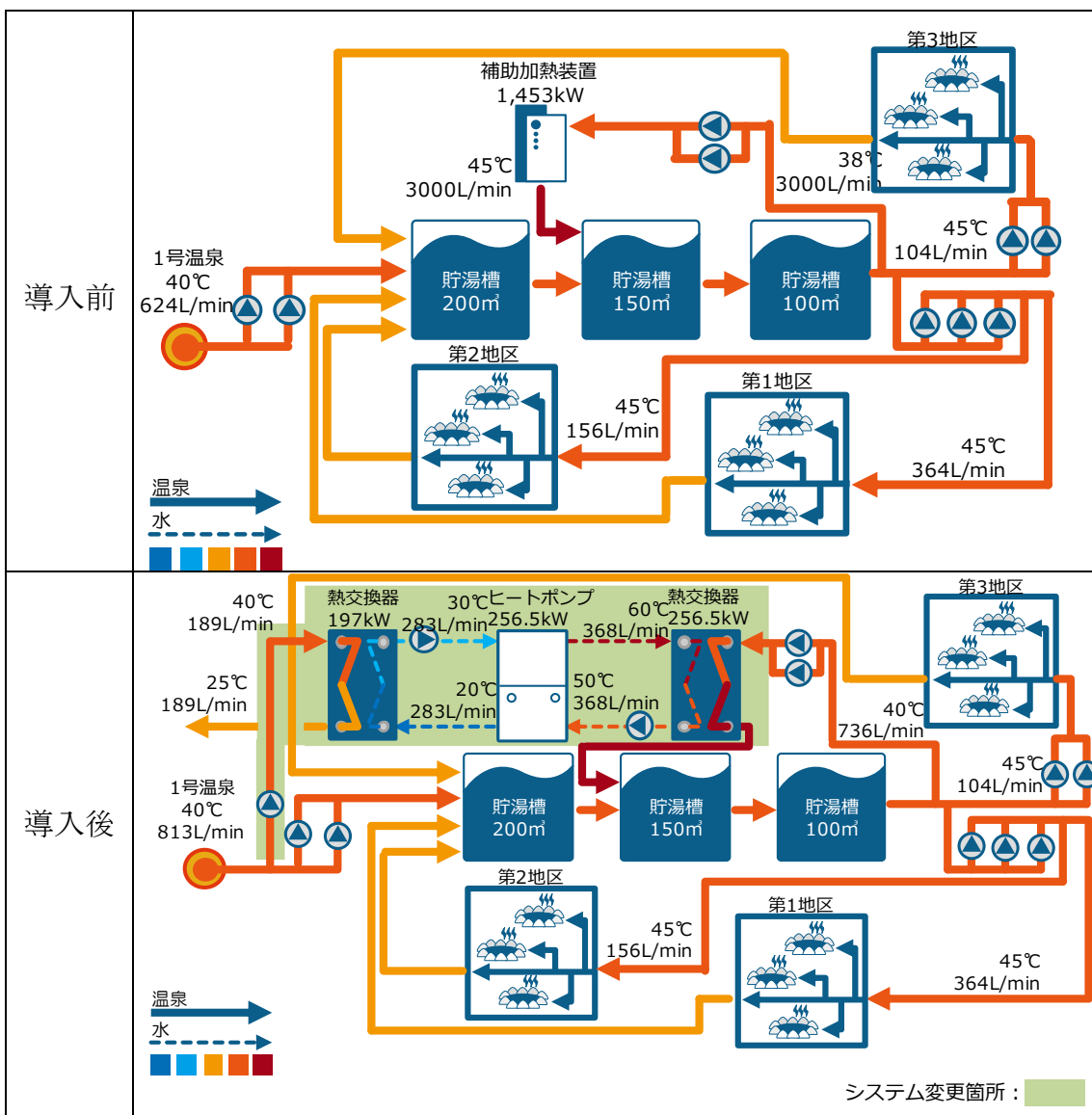
施設名称	D 温泉 配湯所
建物用途	配湯所
規模	※規模不明

表 45 温泉概要

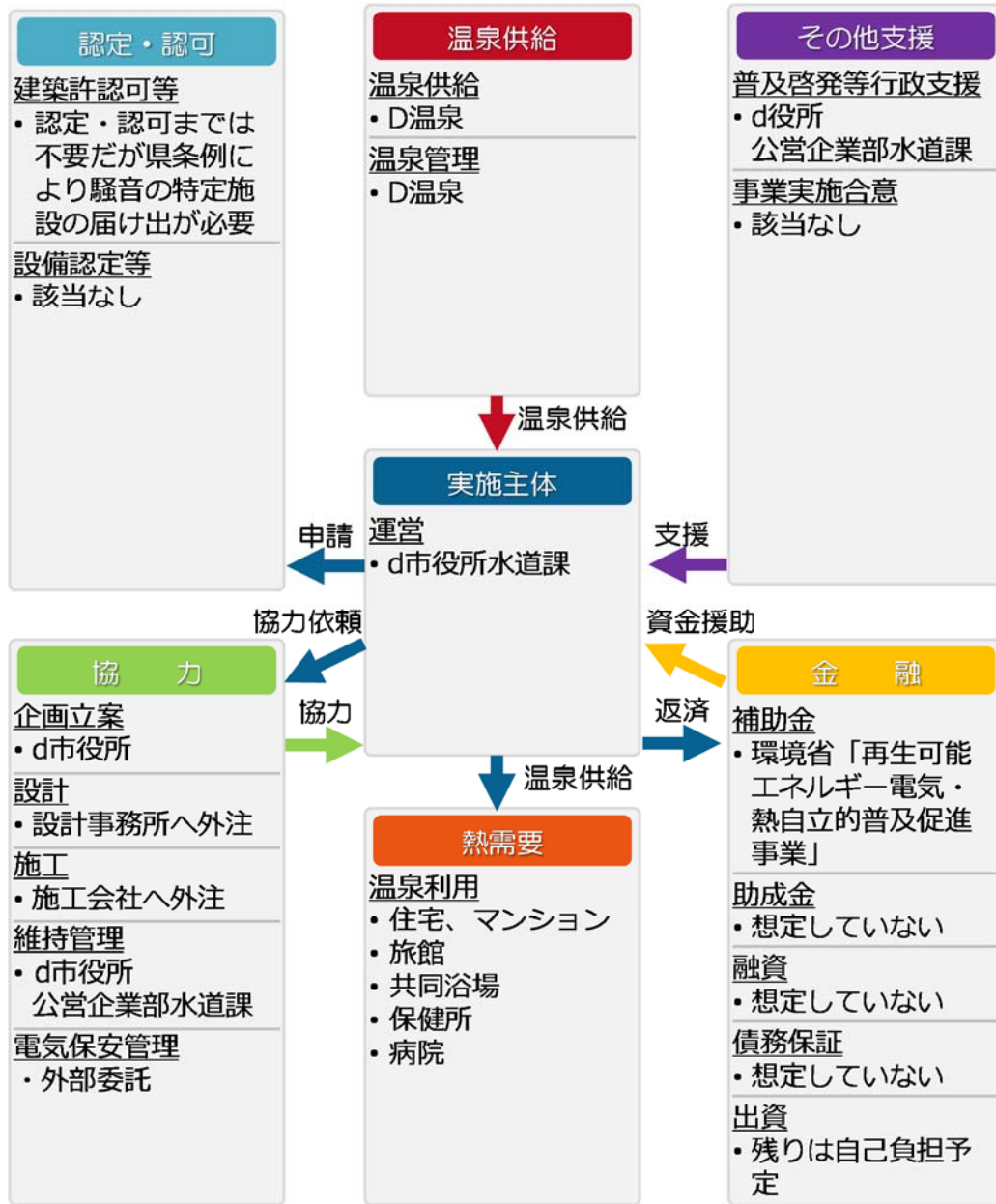
温泉流量	731L/min
温泉温度	44.1℃
泉質	アルカリ性単純温泉

(3) システム構成の検討

利用熱源	温泉 (高温水)	40℃→45℃ ($\Delta t=5^\circ\text{C}$)
		流量：813L/min
温泉熱需要	検討対象周辺の給湯需要がある施設 (病院、旅館、住宅、保養所など、合計 136 施設)	
熱源構成	導入前	真空ヒーター
	導入後	ヒートポンプ
システム上追加した 主な機器	熱交換器 ヒートポンプ	



(4) 実施体制の検討



(5) 資金調達方法の確認

事業 スキーム	自己実施			PFI	ESCO		エネルギー サービス 受託
	自己 資金	借入	リース 取引		自己 資金型	民間 資金型	
適用 可能性	○	○	○	○	○	○	○
※補助金利用の場合							

○：適用可能性が高い △：適用可能性が低い ×：適用可能性が極めて低い

(6) 導入効果の検討

■環境効果・経済効果の検討結果

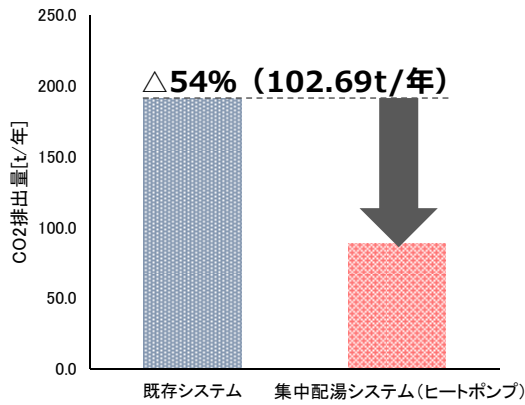


図 41 環境効果
(CO₂削減効果)

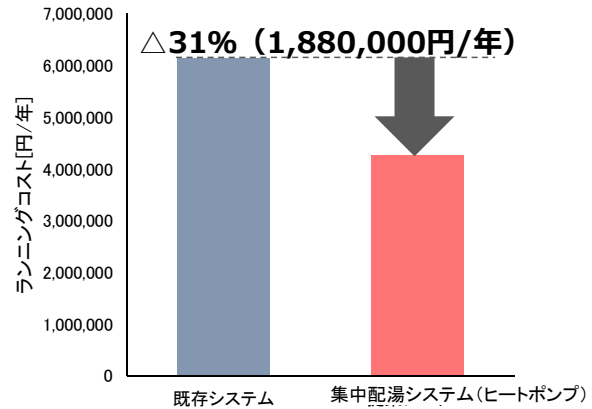


図 42 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 46 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気	重油
導入前	2,492kWh/年	70,000L/年
導入後	181,518kWh/年	2,638L/年

※CO₂排出係数は、電気 0.486kg/kWh、重油 2.71kg/L を利用

表 47 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
導入前	6,044 千円	100 千円
導入後	3,681 千円	583 千円

■ 事業性評価の検討結果

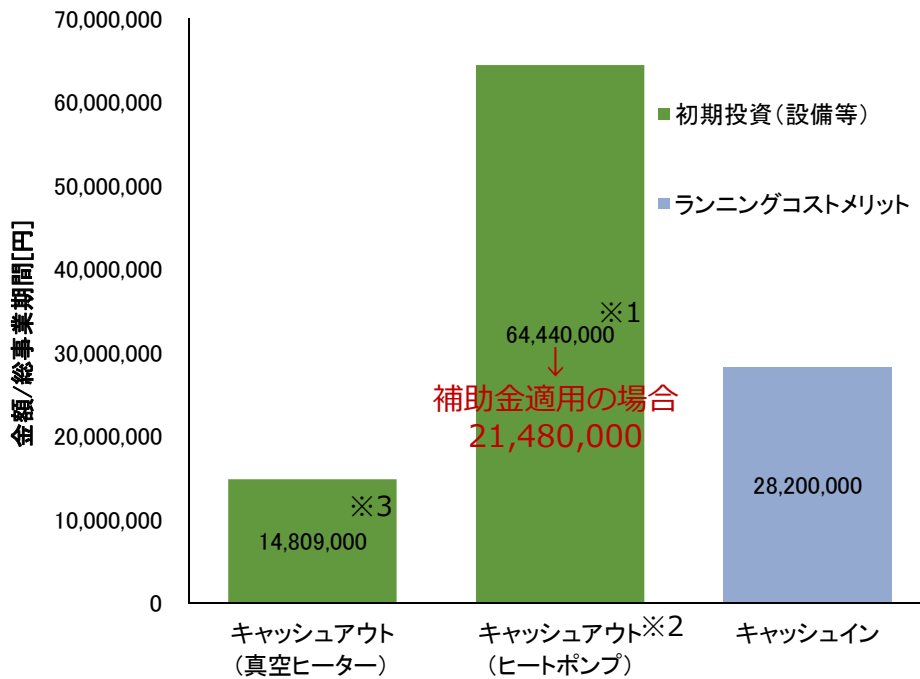


図 43 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: システム図に記載の機器以外に各種盤類含む

※2: その他租税公課、(加入する場合は) 損害保険料などが発生する

※3: 現行システム (真空ヒーター) へ単純更新した場合とヒートポンプへ更新した場合を比較

表 48 投資回収年数

	補助金なし	補助金あり※
投資回収年数 (目安)	約 26.4 年	約 3.5 年

※再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業補助金 2/3 適用想定

※すべての経費が補助対象と認められることが前提

(7) 維持管理方法の検討

表 49 維持管理方法

機器	維持管理方法
温泉スケール	単純泉であり、温泉スケールはあまり付着しないことからスケール対策専用の維持管理は行わない。
点検	目視確認や清掃などの日常点検および定期点検を、採用設備の仕様にあわせ適宜行う。

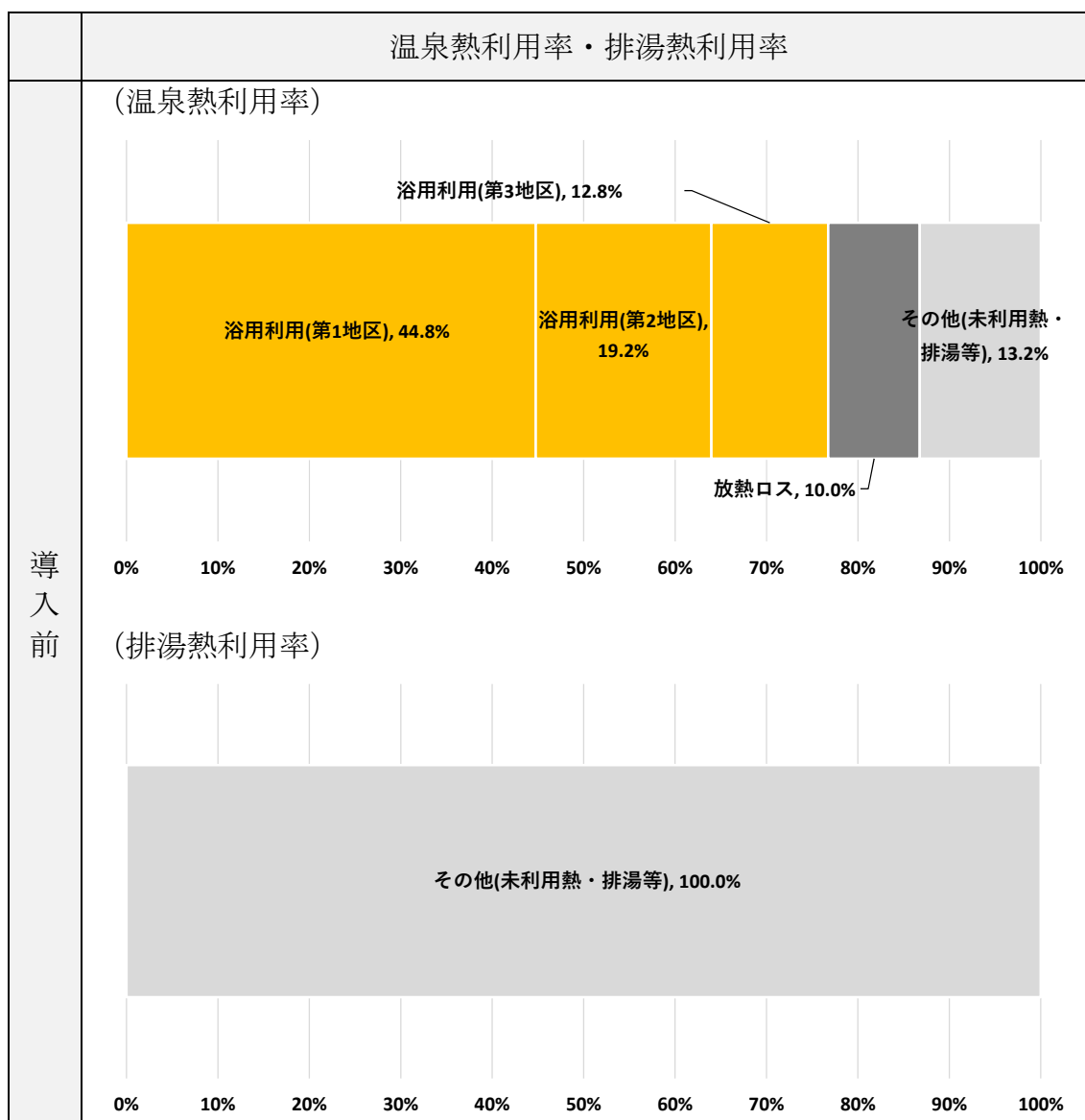
(8) 法規制の確認

- 県条例によりヒートポンプが騒音に関して「条例関係特定施設」に当該するため届出が必要になる

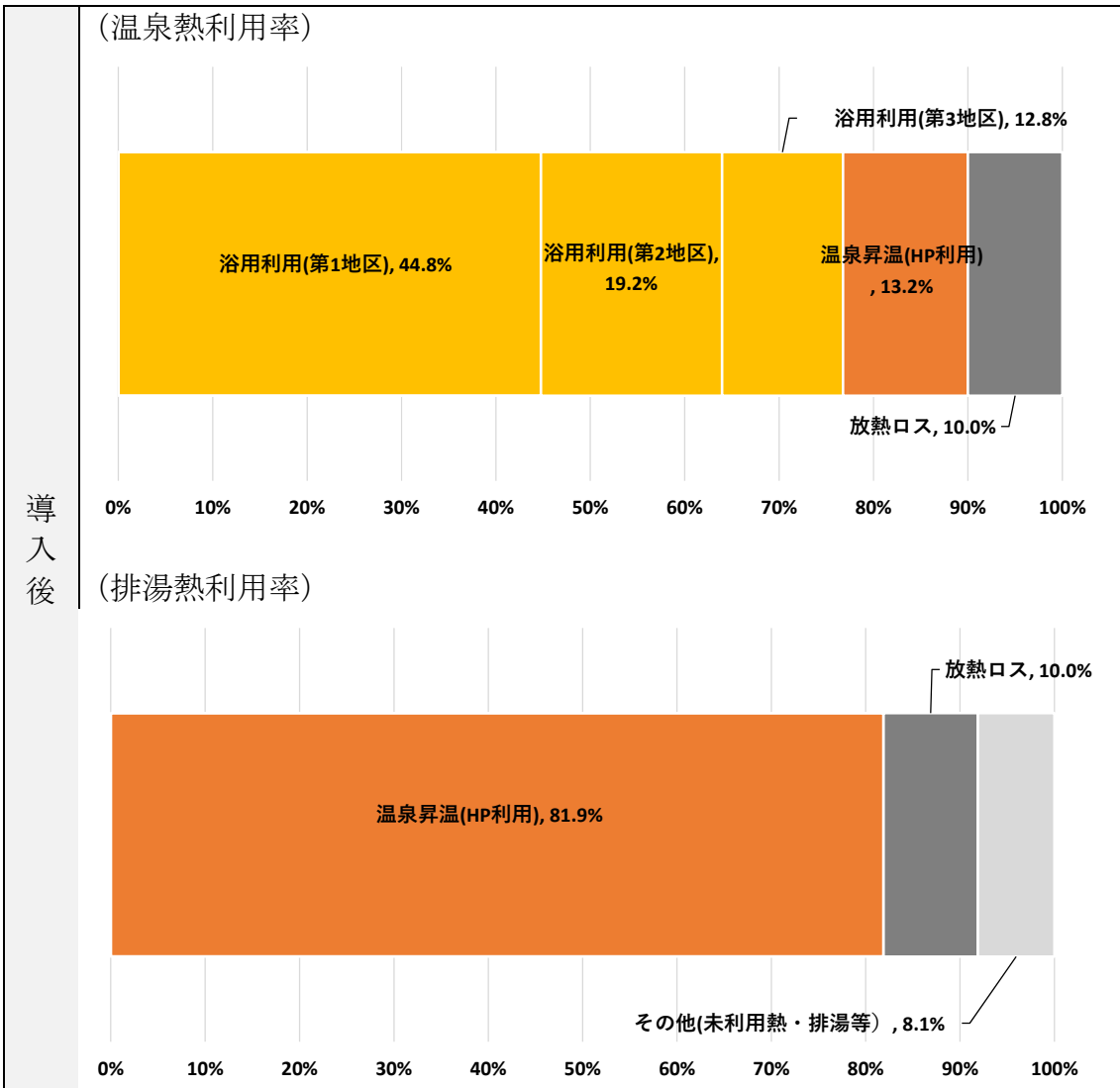
(9) ケーススタディを通じて抽出された課題とその解決方法案

課題	解決方法（案）
冬期運転のみと稼働時間が短いため採算性が悪い。	補助金利用などによる初期費用の低減化。
ユーザーへの契約配湯量を担保し、昇温(45℃)用の熱源として温泉を利用すると、利用可能温泉量(730L/min)を超えてしまう可能性があり(1月、2月、4月)、このときの配湯温度の低下リスクがある。	配湯温泉温度の見直しや契約量と使用量の実態の再調査を行うなどにより、必要な温泉量を精査。
現在の管理は水道課が実施しており、水道と温泉の管理で人的に現状かなりの負荷がかかっている状況である。熱源をヒートポンプとした場合、機器数が増えるため、管理に支障をきたす恐れがある。	温泉管理のための部署検討や管理業務の一部外部委託など、維持管理体制の見直し検討。

(10) 温泉熱利用率・排湯熱利用率



※利用していない温泉（未利用温泉）を使って温泉熱利用を行っていることから、温泉熱ポテンシャル（温泉）と温泉熱ポテンシャル（排湯）の両方を使うこととなるため、熱利用率の対象は温泉熱および排湯熱の合算となります。



※利用していない温泉（未利用温泉）を使って温泉熱利用を行っていることから、温泉熱ポテンシャル（温泉）と温泉熱ポテンシャル（排湯）の両方を使うこととなるため、熱利用率の対象は温泉熱および排湯熱の合算となります。

4.6 集中配湯モデル事例（配管変更） - D 温泉

(1) 温泉熱利用に取り組もうと考えた背景と目的

- D 温泉では、温泉の有効活用と地下資源保護を図るため、集中管理による循環配湯方式（集中配湯モデル）を採用し、町営による温泉の配湯を行っている。
- 集中配湯管に非断熱配管（埋設）と断熱配管（埋設）を採用した場合の性能を比較し、配管効果の検証を図る。
 - 集中配湯用送湯管に非断熱配管（埋設）を使用していたのに対し、一部に断熱配管（埋設）を使用したシステムを検討。

(2) 対象建物・温泉の概要

表 50 対象建物概要

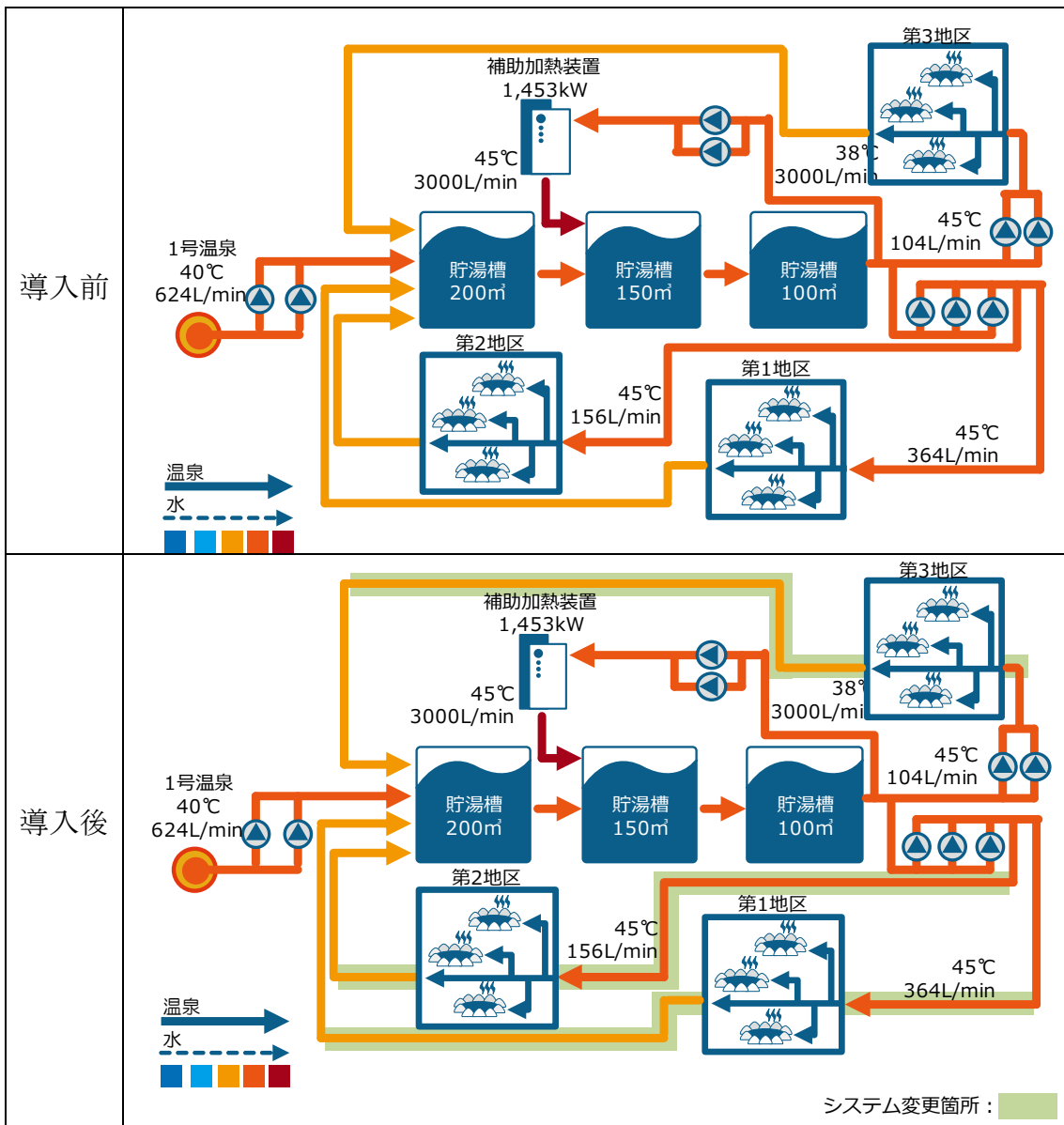
施設名称	D 温泉 配湯所
建物用途	配湯所
規模	※規模不明

表 51 温泉概要

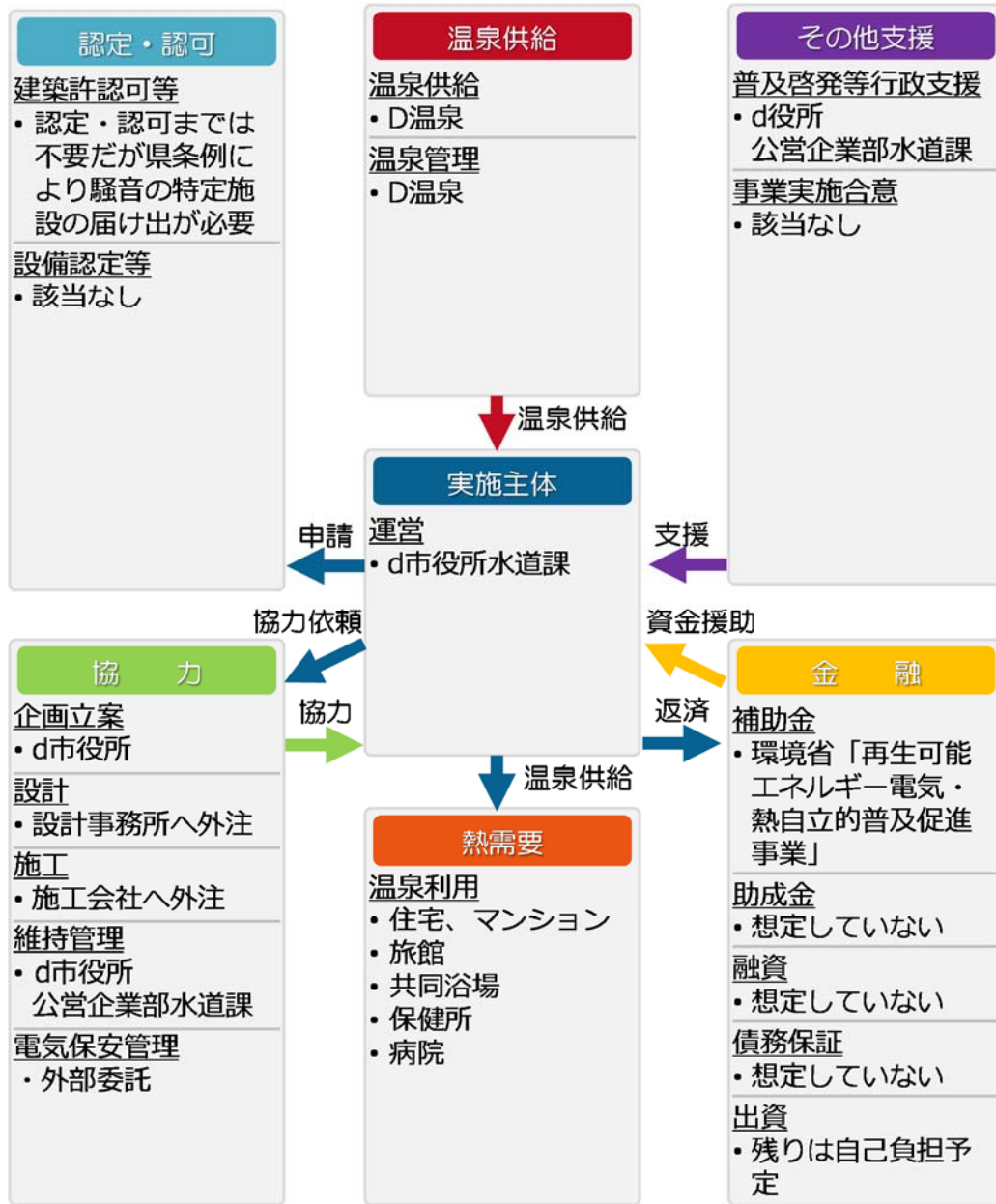
温泉流量	731L/min
温泉温度	44.1℃
泉質	アルカリ性単純温泉

(3) システム構成の検討

利用熱源	温泉 (高温水)	40℃→45℃ (Δt=5℃)
		流量：624L/min
温泉熱需要	検討対象周辺の給湯需要がある施設 (病院、旅館、住宅、保養所など、合計 136 施設)	
構成	導入前	真空ヒーター＋非断熱配管 (埋設)
	導入後	真空ヒーター＋断熱配管 (埋設)
システム上追加した 主な機器	断熱配管 (埋設) ※配管距離約 8.8km	



(4) 実施体制の検討



(5) 資金調達方法の確認

事業 スキーム	自己実施			PFI	ESCO		エネルギー サービス 受託
	自己 資金	借入	リース 取引		自己 資金型	民間 資金型	
適用 可能性	○	○	○	○	○	○	○
※補助金利用の場合							

○：適用可能性が高い △：適用可能性が低い ×：適用可能性が極めて低い

(6) 導入効果の検討

■環境効果・経済効果の検討結果

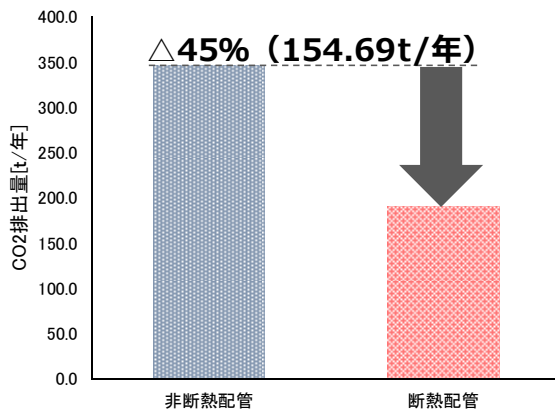


図 44 環境効果
(CO₂削減効果)

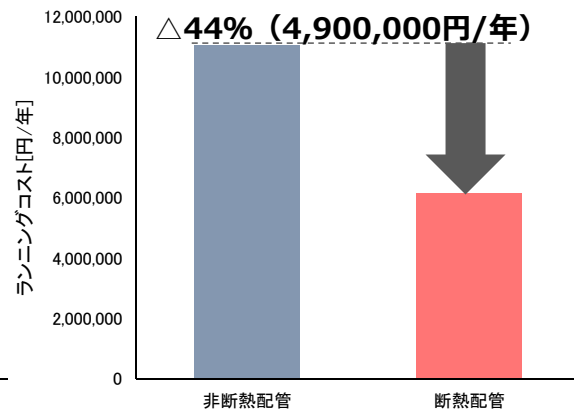


図 45 経済効果
(ランニングコスト削減効果)

表 52 温泉熱利用システム導入前後のエネルギー消費量比較

	電気	重油
非断熱配管 (埋設)	4,512kWh/年	126,719L/年
断熱配管 (埋設)	2,492kWh/年	70,000L/年

※CO₂排出係数は、電気 0.486kg/kWh、重油 2.71kg/L を利用

表 53 温泉熱利用システム導入前後のランニングコストの比較

	エネルギーコスト	メンテナンスコスト
非断熱配管 (埋設)	10,944 千円	100 千円
断熱配管 (埋設)	6,044 千円	100 千円

■ 事業性評価の検討結果

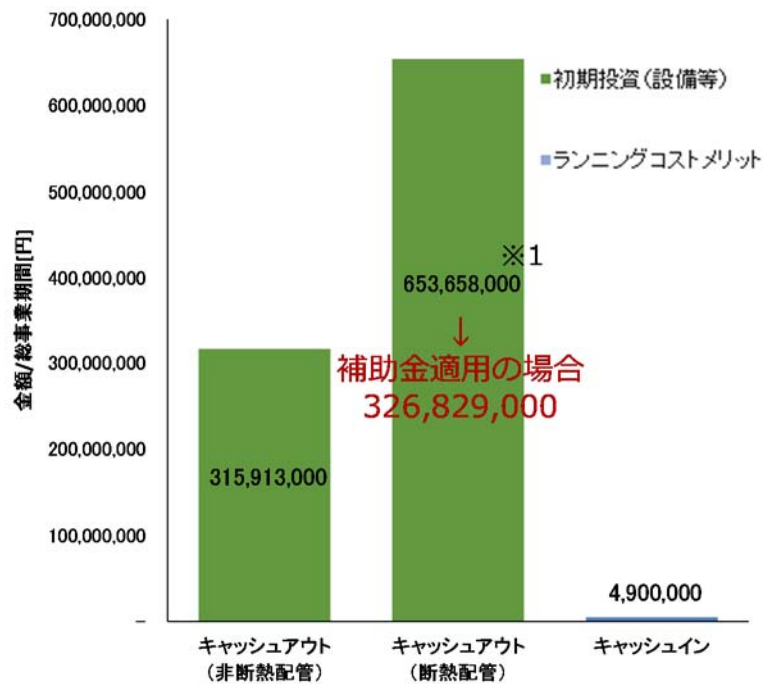


図 46 キャッシュバランス (総事業期間=15年と想定)

※1: その他、加入する場合は損害保険料などが発生する。

配管土工事費は非断熱配管・断熱配管両方の場合で発生することから、当該検討では考慮していない。

表 54 投資回収年数

	補助金なし	補助金あり
投資回収年数 (目安) ※非断熱配管 (埋設) へ単純更新した場合と、断熱配管 (埋設) へ更新した場合を比較	約 68.9 年	約 2.2 年
投資回収年数 (目安) ※断熱配管を新規導入した場合	約 133.4 年	約 66.7 年

※1: 補助金 1/2 適用想定

(7) 維持管理方法の検討

表 55 維持管理方法

機器	維持管理方法
温泉スケール	単純泉であり、温泉スケールはあまり付着しないことからスケール対策専用の維持管理は行わない。
点検	目視確認や清掃などの日常点検および定期点検を、配管の仕様にあわせ適宜行う。

備考

- ・ 平成 30 年度温泉熱等の有効活用等検討委託業務委託：株式会社総合設備コンサルタント
- ・ 同委託業務における検討会（平成 30 年度温泉熱の有効活用のためのガイドライン策定検討会）委員

	佐竹 江井	日比谷総合設備株式会社 LC 営業統括本部エネルギー&スマート部 担当部長
	四宮 博	洞爺湖温泉利用協同組合 専務理事
	鈴木 明彦	株式会社 知識経営研究所 代表取締役
<座長>	中尾 正喜	大阪市立大学 複合先端研究機構 特命教授
	水野 稔	大阪大学 名誉教授
	本木 陽一	一般社団法人 場所文化フォーラム 専務理事
	山根 小雪	株式会社日経 B P 日経エネルギーNext 編集長

(五十音順、敬称略、役職は平成 30 年度当時のもの)



環境省自然環境局自然環境整備課温泉地保護利用推進室

〒100-8975 東京都千代田区霞が関 1-2-2 Tel. 03-3581-3351 (代)

環境省ホームページ：<http://www.env.go.jp/>

環境省 温泉熱の有効活用について：

https://www.env.go.jp/nature/onsen/spa/spa_utilizing.html

以下のツールは環境省「温泉熱の有効活用について」のページにてご確認いただけます。

- ・温泉熱有効活用に関するガイドライン
- ・温泉熱利用事例集
- ・自己分析ツール

2019年3月作成